

Année 1965

N° d'ordre : 194

THÈSES

présentées

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE LYON

pour obtenir

LE TITRE DE DOCTEUR-INGÉNIEUR

PAR

Albert ALAMKAN

Ingénieur I. N. S. A.

PREMIÈRE THÈSE

ETUDE DES LIMITATIONS DE LA DENSITE DANS LES MEMOIRES

A COUCHES MAGNETIQUES MINCES PLANES CONTINUES

DEUXIÈME THÈSE

Propositions données par la Faculté

Soutenues le 23 AVRIL 1965 , devant la Commission d'Examen

MM. R. BERNARD...	Président
R. ARNAL	} Examineurs
PERNOUX...	
F. GALLET....	

Année 1965

N° d'ordre : 194

THÈSES

présentées

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE LYON

pour obtenir

LE TITRE DE DOCTEUR-INGÉNIEUR

PAR

Albert ALAMKAN

Ingénieur I. N. S. A.

PREMIÈRE THÈSE

ETUDE DES LIMITATIONS DE LA DENSITE DANS LES MEMOIRES

A COUCHES MAGNETIQUES MINCES PLANES CONTINUES

DEUXIÈME THÈSE

Propositions données par la Faculté

Soutenues le 23 AVRIL 1965 , devant la Commission d'Examen

MM. R. BERNARD...	Président
R. ARNAL	} Examineurs
PERNOUX...	
F. GALLET	





Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41553428_0012

UNIVERSITE DE LYON

FACULTE DES SCIENCES

Doyens honoraires

MM. LONGCHAMBON, MOUSSA, GAUTHIER Henri.

Professeurs honoraires

MM. LOCQUIN de LARAMBERGUE, SOLLAUD, MENTZER, MOUSSA, JAFFARD, DEJARDIN, EYRAUD Henri, VIRET.

Doyen

M. BRACONNIER

Assesseurs

MM. MESNARD
BOLDIN

Professeurs

MM. LONGCHAMBON	Minéralogie
PRETTRE	Chimie industrielle
COURTY	Chimie-Physique
KUHNER	Botanique
MALECOT	Mécanique rationnelle et appliquée
PARIS	Chimie minérale
AUMERAS	Chimie générale II
COLONGE	Chimie organique
JANIN	Physique générale
FLANDRIN	Géologie appliquée
BERNARD	Physique industrielle
DUFAY Jean	Astronomie
NIGON	Zoologie expérimentale
GAUTHIER Henri	Géologie générale
WAUTIER	Zoologie
CHOPIN	Chimie biologique
CUEILLERON	Chimie
BRACONNIER	Calcul différentiel et intégral
EYRAUD Charles	Chimie - Physique appliquée
SARAZIN	Physique nucléaire

MM. BOIDIN
 PERES
 MESNARD
 GRANDMONTAGNE
 BOUTILLIER
 LAFOUCRIERE
 DREUX
 TEICHNER
 PAVANS DE CECCATTY
 MERLIN
 DUFAY Maurice
 LUBET
 PHILBERT
 COHEN-ADAD
 DAVID Louis
 CHANEL
 MAURY
 DEPRAZ
 GAUTHIER Jean
 GAUME

Microbiologie et Mycologie
 Physiologie
 Electronique
 Physique
 Minéralogie
 Physique nucléaire théorique
 Chimie organique
 Chimie industrielle
 Zoologie
 Chimie analytique
 Physique de l'Atmosphère
 Physiologie
 Physique nucléaire
 Chimie
 Géologie générale
 Psychophysiologie
 Méthodes Mathématiques de la Physique
 Physique nucléaire
 Chimie
 Physique expérimentale

Professeurs sans chaire

MM. FERON
 LAFORGUE
 LEGAY
 UZAN
 CHENEVOY
 GINET
 ASCH
 MICHEL Pierre
 DUCET

Mle MAITROT
 GEVIN
 PONASSE
 d'INCAN
 LEFEBVRE
 PERNET
 CHERY
 BERGEON
 Mle GAUTHERON

Mathématiques
 Physique
 Zoologie expérimentale S.P.C.N
 Physique S.P.C.N.
 Géologie appliquée
 Zoologie
 Physique
 Minéralogie
 Biologie végétale
 Physique
 Géologie générale
 Mathématiques
 Physique
 Mathématiques
 Mathématiques
 Physique
 Physique C.S.U.
 Chimie biologique

Maîtres de Conférences

Mme ERICSON
 MM. MARTEL
 MATHIEU
 ERBEIA
 DESCOTES

Physique générale
 Mécanique
 Mécanique des Fluides
 Physique
 Chimie organique

Maîtres de Conférences

MM. PICARD Philippe	Mathématiques
LEMOIGNE	Botanique
DEMARCO	Géologie générale
MICHEL Georges	Biochimie
LEBRETON	Biologie végétale
DAVID Jean	Biologie animale
TOUSSET	Chimie propédeutique
FEUVRAIS	Physique Electricité
PICARD Claude	Mathématiques
SCHMITT	Physique M.P.C.
LAURENT	Chimie organique
ROT	Mathématiques
BETHOUX	Mathématiques T.M.P.
Mlle CALAIS	Mathématiques C.S.U.
GUSAKOW	Physique
Mlle THOMAS	Chimie minérale

Maître de Conférence adjoint

M. PIERRON	Chimie
------------	--------

Conseiller Administratif

M. BURNET

Secrétaire Principal Honoraire

M. ROUX

Le sujet présenté a été étudié dans les Laboratoires de la Société Industrielle Bull - General Electric à PARIS.

Je remercie très vivement Monsieur le Professeur René BERNARD, Directeur du département de physique de l'I.N.S.A., d'avoir bien voulu accepter la présidence de la commission d'examen.

Je suis heureux de pouvoir exprimer toute ma reconnaissance envers Monsieur le Professeur ARNAL pour ses conseils, ses critiques et l'aide dévouée qu'il m'a portée tout au long de mes études à l'I.N.S.A. et mes travaux post scolaires.

Qu'il me soit permis de remercier ici tous mes anciens professeurs de l'I.N.S.A. et en particulier Monsieur PERNOUX qui a bien voulu accepter d'être Membre du Jury d'examen.

Je tiens à remercier la S.I.B.G.E. et particulièrement :

MM. FEISSEL Henri, Chef de division

GALLET François, Chef de section et Membre du Jury

GIRARD René, chef de section, et ses collaborateurs.

ainsi que Monsieur GRUNBERG, chef du Service électronique du C.E.N. de Grenoble.

RESEAUX DE CONDUCTEURS : Nous caractérisons un réseau de conducteur par le symbole suivant :

$$X \{ a, b \}$$

X : c'est M P ou D : mot, prélèvement, ou digit

a largeur du conducteur en mm

b pas du réseau en mm.

I N T R O D U C T I O N

Il est bien connu que les mémoires statiques rapides occupent une place importante et jouent un rôle essentiel dans les ensembles à traitements de l'information et dans les calculateurs.

Bien que leur rapidité soit un des éléments importants de la vitesse de calcul, c'est leur capacité qui détermine bien souvent à elle seule la possibilité ou l'impossibilité de traiter un problème donné dans des conditions économiques acceptables.

Le seul composant utilisé jusqu'à présent pour ces mémoires est le tore de ferrite dont la technique d'emploi s'est peu à peu perfectionnée. Pour des ensembles très importants on arrive à utiliser des mémoires dont la capacité dépasse 10^7 bits. Ce sont là des ensembles de taille exceptionnelle. En fait on est vite limité, pour des raisons beaucoup plus économiques que techniques, dans l'accroissement des capacités de mémoire.

Depuis une dizaine d'années on s'intéresse à d'autres composants propices à la réalisation de mémoires rapides à grandes capacités. Parmi ces composants on trouve des couches minces supraconductrices et les couches magnétiques minces planes continues et discontinues.

Nous allons étudier les perturbations et les limitations de la densité dans les mémoires à couches magnétiques minces continues. Ces lames présentent l'avantage d'être plus facilement réalisables que les lames discontinues et demandent moins de précision dans la réalisation et le positionnement des conducteurs de commande. Mais d'autre part la surface de la zone où l'on inscrit l'information dans une couche continue est fonction des amplitudes des champs de commande. Les limites d'une cellule de mémoire varieront suivant les champs effectifs appliqués et dans certains cas dépendront du passé de la zone où l'on applique les champs et de la position de l'aimantation dans le voisinage de la région où l'on veut fixer l'information.

Nous supposons connues les propriétés des couches magnétiques minces (C.M.M.) ainsi que les techniques de leur utilisation en mémoire.

Au chapitre 1 nous posons d'une manière plus concrète les problèmes que nous allons étudier. Nous donnons les principaux résultats relatifs aux couplages parasites entre les divers réseaux de conducteurs qu'il faut associer à la couche magnétique, ceci afin de déterminer les conditions les plus favorables pour les mesures.

Quoique l'électronique constitue une importante partie de notre travail nous nous contentons de présenter l'appareillage que nous utilisons afin de disposer de plus de place pour développer en détail au Chapitre 4 les causes et les conséquences des configurations magnétiques défavorables que nous avons trouvées au Chapitre 2 ainsi que l'influence de l'étalement des champs de commande que nous avons étudiée au Chapitre 3.

CHAPITRE 1

CHAMPS PERTURBANTS ET CONDITIONS DE MESURE

=====

1.1. Perturbations et champs perturbants

Désignons par (m, i) la cellule définie par le conducteur de mot m et le conducteur de digit i . A l'écriture nous appliquons à cette cellule un champ $\vec{h}(m, i)$ et compte tenu des champs démagnétisants de (m, i) , le champ résultant qui existerait s'il n'y avait qu'une cellule est $\vec{H}(m, i)$.

Quand la lame de mémoire possède un certain nombre de cellules, il faut tenir compte des champs créés par les autres cellules au niveau de la cellule (m, i) que nous appelons cellule centrale ou de base. Le champ réel en (m, i) aura la forme suivante

$$\vec{H}(m, i) = \vec{H}_0 + \sum_{j \neq i}^n \vec{H}^{(n, j)}(m, i)$$

$\vec{H}^{(n, j)}(m, i)$ est la valeur des champs de (n, j) au niveau de (m, i)

Dans un système d'axes que nous identifions aux conducteurs de commande, en prenant la cellule de base comme origine, les autres cellules ont pour coordonnées $[m \pm q, i \pm p]$

Les facteurs dont dépend $\vec{H}(m, i)$ sont nombreux. Le paramètre le plus important est sans doute la distance des cellules $[m \pm q, i \pm p]$ à (m, i)

Cette distance est fonction de la largeur des conducteurs et de leur pas dans chaque réseau. Par suite $\vec{H}(m, i)$ est fonction de la densité de la mémoire. Il est en outre évident que ce champ dépend de l'épaisseur de la couche magnétique, de la valeur de l'aimantation à saturation, de la distance de la couche magnétique au plan de masse. Nous inscrirons l'information partout où l'extrémité du vecteur $\vec{H}(m, i)$ sera antérieure à la courbe critique externe. $\vec{H}(m, i)$ définit la surface de la zone d'écriture en (m, i) et par suite agit directement sur la variation de flux à la lecture.

Nous simplifions le problème en considérant neuf cellules définies par trois mots et trois digits. C'est-à-dire que nous prenons pour q et p les valeurs 0, 1.

Nous aurons trois mots : $m, m - 1, m + 1$

Nous aurons trois digits: $i, i - 1, i + 1$

Nous devons ajouter une autre variable qui sera le nombre de fois que nous appliquons le champ $\vec{H}(m, i)$ à la cellule de base.

Nous supposons dans notre étude que les cellules $\{m \pm q, i \pm p\}$ telles que $p, q \geq 2$ sont sans influence appréciable sur la cellule (m, i) .

Dans l'expression de $\vec{H}(m, i)$ les champs qui interviennent autre que $\vec{h}(m, i)$ sont des champs perturbants. Les valeurs de ces champs pour une mémoire donnée seront fonctions des informations que nous écrivons dans les cellules autres que (m, i) . Il existe à priori une configuration où leur action sera la plus défavorable sur la cellule centrale.

La variable la plus intéressante pour caractériser une configuration est sans doute la variation de flux à la lecture. Cependant dans une mémoire on s'intéresse davantage au signal de lecture. En outre, ce dernier est plus facilement mesurable. En rotation cohérente nous nous trouvons dans un cas où le signal de lecture est lié au flux utile par une relation simple.

Si nous avons une variation de flux $\Delta\phi$ à la lecture et si le champ de mot atteint la valeur HK dans un temps τ - le courant de mot s'établissant en rampe - nous aurons un signal de lecture e tel que

$$e \approx \frac{\Delta\phi}{\tau}$$

Nous utilisons des temps de montée constants pour le courant de mot et le signal de lecture a une forme sensiblement triangulaire. Il nous suffit de noter l'amplitude du signal de lecture.

Nous devons nous assurer que les bruits parasites n'altèrent pas trop ce signal. Nous distinguons deux parasites importants. Le premier est dû au couplage entre les conducteurs de mots et de lecture; nous le désignons sous le nom de signal capacitif. Le second est dû au couplage entre les conducteurs de digit et de lecture, nous l'appelons signal inductif.

Dans l'exploitation d'une mémoire ces signaux parasites peuvent être gênants et il faudra alors les éliminer. L'analyse détaillée de ces parasites montre que leur compensation n'est pas très simple.

Dans notre étude nous utilisons des mémoires de très petites dimensions et nous avons préféré chercher les conditions de minimisation de ces signaux de manière à rendre leur influence négligeable.

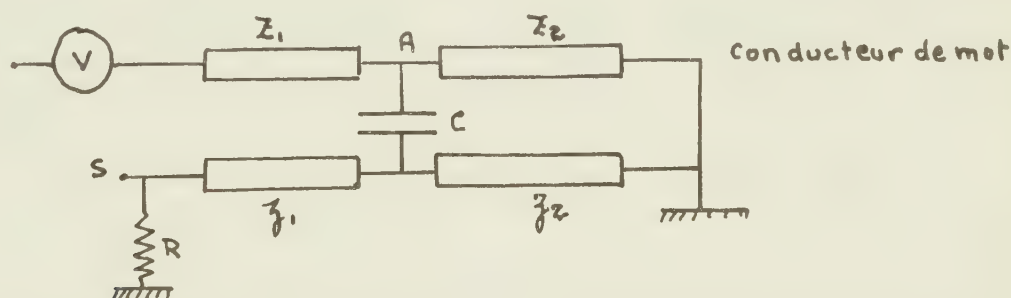
1.2. Evaluation des signaux parasites.

L'étude détaillée des parasites nous montre que les conditions de minimisation des deux signaux sont incompatibles.

Nous avons choisi de diminuer au maximum le signal capacitif.

La cause principale de ce signal réside dans l'existence d'une capacité entre le conducteur de mot et le conducteur de lecture. Dans les petites mémoires où la longueur des conducteurs n'excède pas une dizaine de centimètres et compte tenu des temps de montée des signaux que nous utilisons, nous pouvons considérer les conducteurs comme des inductances localisées.

Dans ces conditions le schéma électrique équivalent - pour le couplage capacitif - est le suivant



Nous trouvons que le signal capacitif est proportionnel à Z_2 et sensiblement proportionnel à C . Il faudra par suite diminuer Z_2 et C .

Pour diminuer Z_2 il faut commencer par placer la résistance qui définit le courant de mot du côté du générateur de tension V . Ensuite il faut placer la cellule (point A) le plus près possible du point où le conducteur de mot est relié à la masse.

Pour diminuer C il faut diminuer la largeur du conducteur de prélèvement (lecture) car la largeur du conducteur de mot est imposée par d'autres objectifs et la distance mot-lecture influe sur l'établissement des champs de commande.

Le signal de lecture est presque toujours supérieur à $300\mu V$ et nous ne tenons pas compte du signal capacitif ($50\mu V$) dans des mesures de précisions moyennes.

Le signal parasite inductif est, dans les conditions de minimisation du signal capacitif très important. Son inconvénient réside surtout dans le fait qu'il sature l'amplificateur de lecture. Comme nous utilisons des amplificateurs à liaison capacitive, alors la référence de sortie est mal définie tant que l'amplificateur n'est pas désaturé. Dans les recherches de configurations défavorables nous opérons avec une fréquence de récurrence faible pour permettre à l'amplificateur de récupérer entre l'opération précédent la lecture et la lecture.

Pour tester les plans de mémoire et étudier la tenue de l'information nous disposons d'un appareillage qui comporte un simulateur ou générateur de programme et deux maquettes de mémoire.

1.3. Description du simulateur.

Le simulateur remplace les organes d'entrée de la mémoire. Nous opérons sur trois mots que nous notons $m - 1$, m et $m + 1$ et trois digits (chiffres) $i - 1$, i , $i + 1$. Le but principal du simulateur est de nous permettre l'étude de la variation du signal de lecture de la cellule (m, i) quand nous changeons les contenues des cellules $(m \pm 1, i \pm 1)$ et en fonction du nombre d'écriture. Il comprend un tiroir central et un certain nombre de tiroirs de séquences.

1.3.1. L'unité de programme : la séquence.

Chaque séquence permet de faire une opération sur trois cellules d'un même mot. On peut répéter l'opération de 2^0 à 2^{19} fois.

Types d'opérations que nous pouvons réaliser :

1) Ecriture. Le commutateur de mode est en position écriture. On choisit le mot qu'on veut $m - 1$, $m + 1$ ou m . On positionne les commutateurs de digit sur la position 0 ou 1.

2) Lecture et réinscription.

Le commutateur de mode est en position L - Re. On choisit le mot. En position L - Re il n'y a pas de commande de digit.

3) Cycles morts

On peut faire des cycles morts. Pendant un certain temps on n'envoie aucune commande à la mémoire.

On peut répéter une même opération jusqu'à 2^{19} fois en position normale.

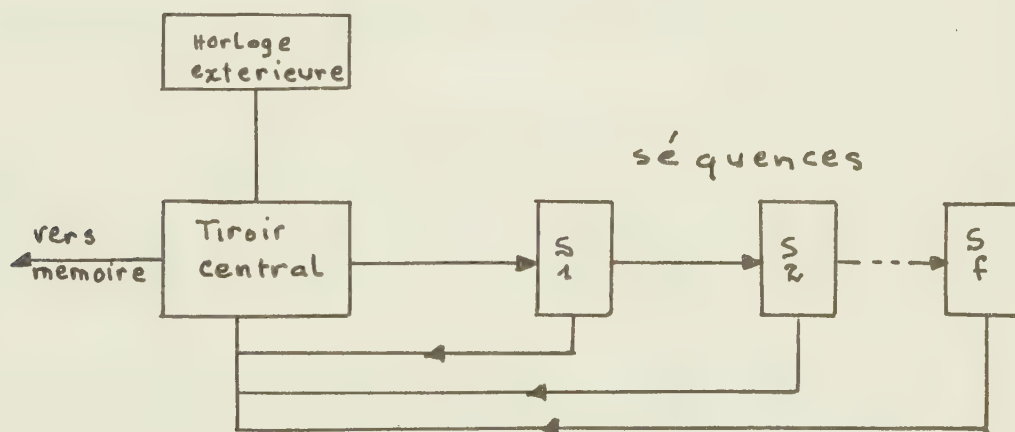
En position récurrente l'opération peut se répéter un plus grand nombre de fois. Dans ce cas la séquence est bouclée sur elle-même et marche jusqu'à ce qu'on l'arrête.

Chaque séquence peut déclencher la suivante. L'enchaînement peut se faire dans un ordre quelconque déterminé à l'avance.

1.3.2. Le tiroir central

Le tiroir central reçoit l'impulsion d'horloge qui définit la fréquence de fonctionnement. Il commande le démarrage de la première séquence et reçoit toutes les commandes venant des séquences et les distribue à la mémoire.

1.3.3. Schéma synoptique du simulateur



1.4. Maquettes de mémoire

Nous utilisons deux maquettes de mémoire qui se complètent. La première comporte 256 bits : 16 mots 16 digits. Ce qui nous définit un grand nombre de groupes de 9 cellules. Quand nous faisons une étude de perturbations nous la faisons sur une vingtaine de groupes pris en différents points de la plaque afin d'éliminer les cas particuliers qui peuvent provenir soit des défauts de la lame de permalloy, soit des conducteurs, soit des circuits de commande. La deuxième maquette comporte 64 bits (8 x 8). Elle nous permet une plus grande liberté dans le choix des variables et des perturbations.

1.4.1. Description générale de la maquette "64 bits"

Elle est connectée au simulateur dont elle reçoit les commandes suivantes :

- Horloge générale
- Mode (écriture ou lecture)
- Horloges particulières à chaque séquence (10 horloges)
- Commande de mot
- Commande d'information (chiffre)

Nous pouvons sortir et visualiser

- le signal de lecture
- l'information lue (courant de réinscription)

Paramètres variables. Nous faisons varier un certain nombre de paramètres que nous classons en deux catégories :

A) Paramètres variables d'une séquence à l'autre

- Commandes venant du simulateur
- Présence ou absence de courant d'information sur 1, 2 ou 3 digits.
- Valeur du courant de mot, parmi deux valeurs prédéterminées.

B) Paramètres lentement variables et de façon continue

- Valeur du courant de mot (de 0 à 600 mA).
- Valeurs des courants d'information (0 et 1) (de 0 à 120 mA).
- Valeur du champ extérieur de digit
- Retard et durée de l'impulsion de courant d'information par rapport à l'impulsion de mot.

1.4.2. Plan logique. Voir schéma n° 2

1.4.2.1. Circuits de mot

La présélection est manuelle. Le courant de mot est autorisé quand la base du transistor TM est validé. La base est commandée directement du simulateur après une inversion. La commande d'émetteur, à partir de laquelle le courant de mot est défini, valide I_1 ou I_2 suivant le courant de mot désiré. TM joue le même rôle qu'un interrupteur en l'air.

1.4.2.2. Circuits d'information.

Nous avons deux types de fonctionnement avant la bascule. En écriture la bascule est commandée à partir de la porte "ET₁" et "OU₁". A la lecture elle est commandée à partir de "ET₂" et "OU₁". Le choix entre les deux portes se fait à partir du mode. Suivant l'état de la bascule l'une des portes ET₃ ou ET₄ est validée. Alors le générateur 1 ou 0 délivre une impulsion de digit à partir de laquelle le courant de digit est déterminé.

La commande Hi fixe le départ et la durée de cette impulsion. La remise à zéro et Hi arrivent à tous les cycles. Nous voyons qu'avec un tel système nous aurons à tous les cycles un courant de digit, ce qui correspond à un fonctionnement normal en mémoire. Pour certains tests nous avons besoin de supprimer le courant de digit, et nous avons ajouté une condition supplémentaire "autorisation de séquence".

1.4.3. Détection.

Nous utilisons des conducteurs de mot de largeur différente et des lames d'épaisseurs différentes. Le signal de lecture a son amplitude variable d'une mémoire à l'autre.

L'amplificateur de lecture comprend deux étages A₁ et A₂. Le premier a un gain de 20. Le gain du second est de 10 ou 15 suivant le cas. Le temps de montée de l'ensemble est de 6 ns. Le signal de lecture est amplifié et ensuite échantillonné dans le temps.

L'échantillonnage est à diode tunnel. Pour des courants de digit élevé le parasite inductif peut déclencher la diode tunnel; c'est pourquoi au niveau de "ET₂" nous utilisons un deuxième échantillonnage dans le temps.

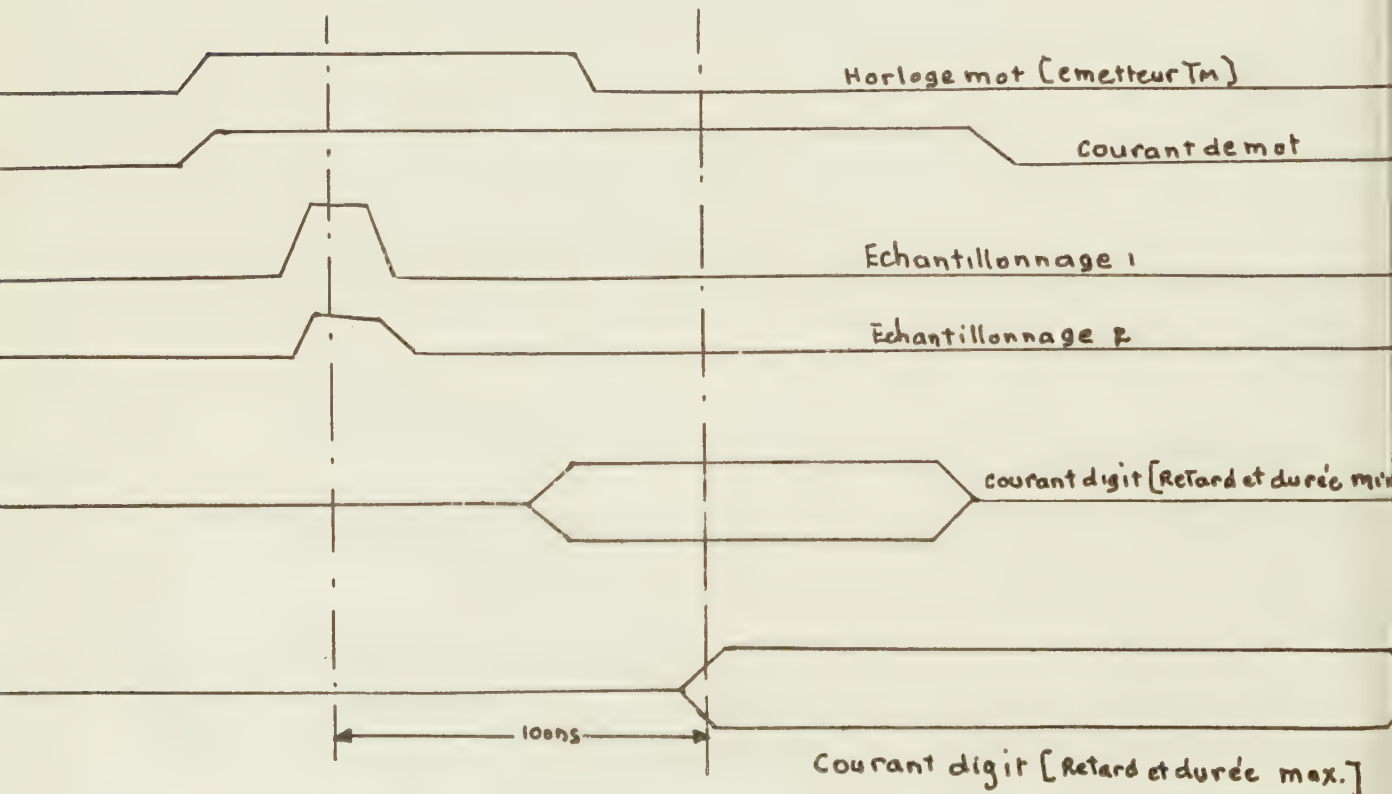
Le seuil du premier échantillonnage est réglable. On déplace le point de fonctionnement de la diode tunnel.

L'amplificateur de test A'₂ permet de visualiser le signal de lecture et de mesurer son amplitude.

1.4.4. Cycle de fonctionnement et chronologie des principaux signaux

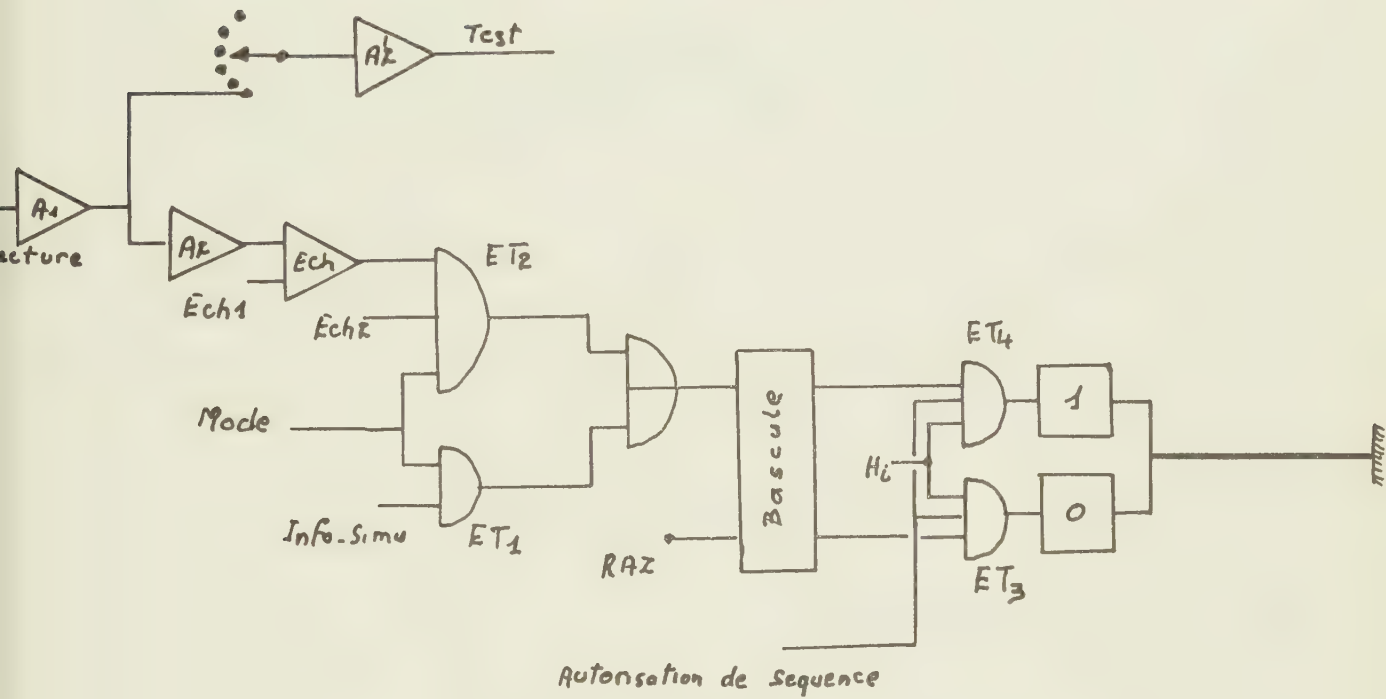
La durée maximum du cycle est de 400 ns. Cette durée peut être ramenée à 300ns. Notre but n'est pas de faire fonctionner la maquette à une grande vitesse. La fréquence de fonctionnement est limitée par le parasite de réinscription que nous avons déjà étudié.

Le graphique suivant donne les positions des principaux signaux dans le temps.



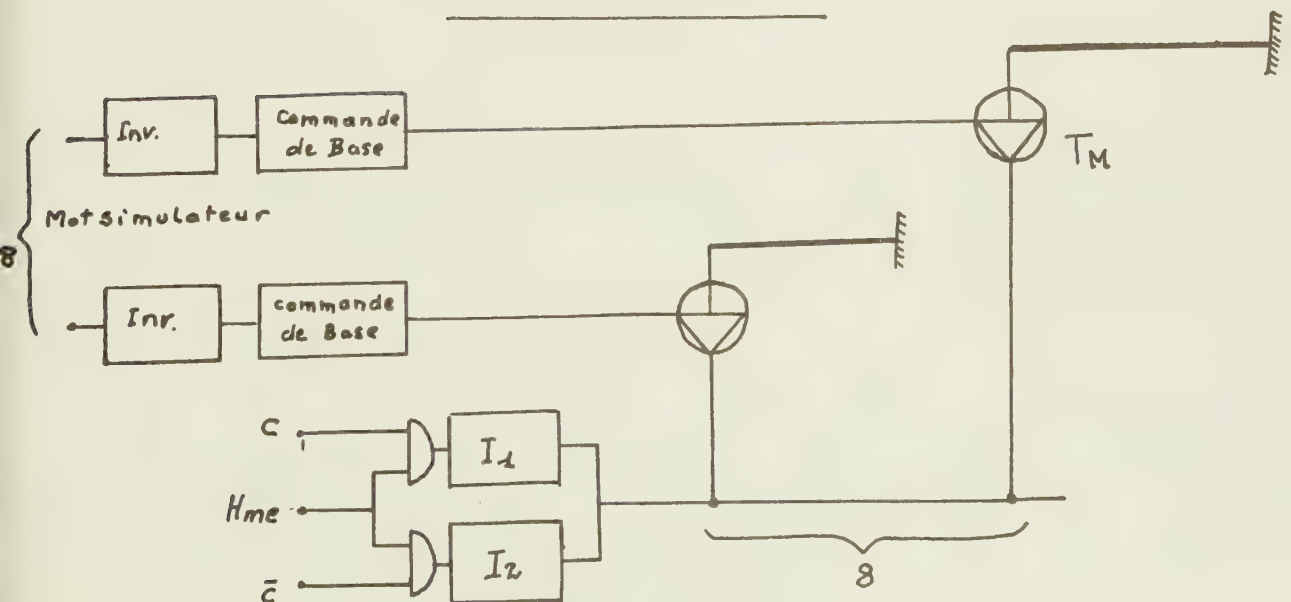
n°2

CIRCUITS "DIGIT-LECTURE"



Autonisation de Sequence

CIRCUITS "MOT"



CHAPITRE 2

ETUDE EXPERIMENTALE DE DEUX DENSITES

Dans ce chapitre nous étudions la tenue de l'information et les variations du signal de lecture suivant les configurations et le nombre d'opérations.

La première partie est réservée à une densité relativement faible : 22 bits/cm². La deuxième partie est consacrée à l'étude d'une densité de 45 bits/cm².

Nous déterminons les configurations défavorables de digit et de mot.

2.1. Densité de 22 bits/cm²

Les conducteurs de commande ont les caractéristiques suivantes :

Réseau de digit : $\{ 1, 3 \}$

Réseau de mot : $\{ 0,5, 1,5 \}$

Caractéristiques essentielles de la couche ferromagnétique
dépôt sur verre (150μ), épaisseur de permalloy 350 Å

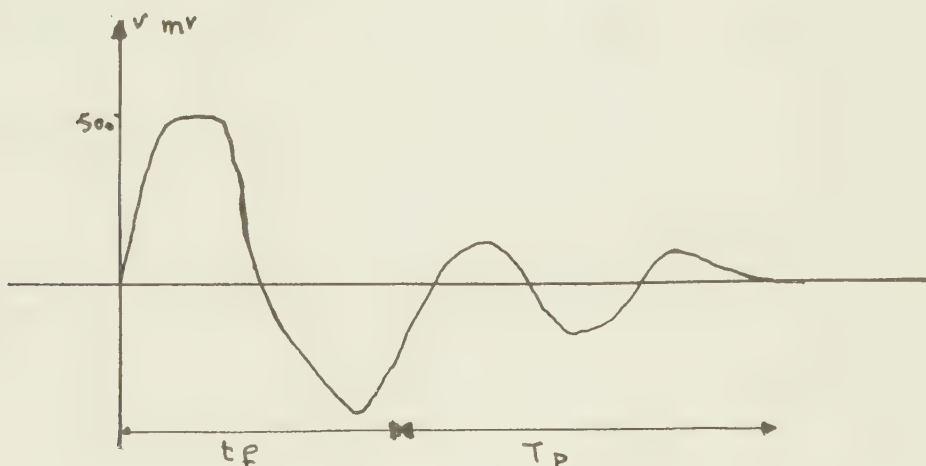
$$H_c = 1,8 \alpha$$

$$H_n = 1,8 \alpha$$

$$\alpha_m = +1,5^\circ$$

2.1.2. Etude en fréquence

La fréquence limite de fonctionnement dépend des opérations que l'on effectue au cours d'un cycle du simulateur et en particulier du nombre de lecture. Le parasite de réinscription sature l'amplificateur de lecture qui, quand la période est faible, n'a pas le temps de revenir à sa position d'équilibre. A l'échantillonnage on a une tension supplémentaire qui peut provoquer un basculement non conforme à la polarité du signal de lecture. On peut alors rendre le fonctionnement correct en introduisant entre la dernière séquence d'écriture et la séquence de lecture ou entre deux séquences de lecture une séquence de cycles morts, ce qui permet à l'amplificateur de lecture de reprendre son état d'équilibre.



t_f est la durée de l'impulsion de courant de digit.

Le graphique représente le parasite inductif de la séquence $S_n - 1$ à la sortie de l'amplificateur de lecture. Nous voyons que, si à la séquence S_n , nous faisons une lecture dans la zone T_p le signal inductif est suffisamment important pour l'emporter sur le signal de lecture et dans un tel cas c'est le parasite qui va déclencher la diode tunnel.

Pour éviter cet effet nous pouvons - comme il a été dit plus haut - diminuer la fréquence. Cependant nous gardons la possibilité d'écrire dans les divers mots à une grande vitesse à condition d'introduire entre la dernière opération d'écriture et la lecture un nombre suffisant de cycles morts où la mémoire ne reçoit aucune commande. Afin d'effectuer tous les tests à la même fréquence nous avons gardé la première solution.

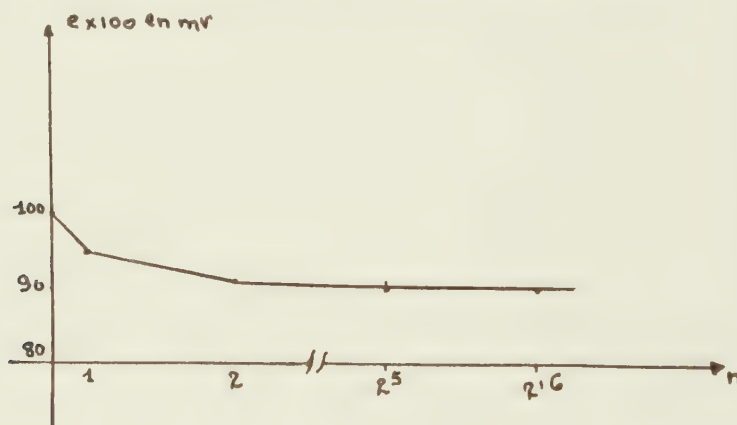
2.1.3. Influence du nombre d'opérations

Nous avons constaté que, dans le cas de lames épaisses ($e > 1000 \text{ \AA}$) la zone d'inscription variait dans de grandes proportions avec le nombre d'écritures. En particulier si nous écrivions une information a dans une cellule un grand nombre de fois, pour bien écrire ensuite " $\bar{a}$ " il fallait soit augmenter les courants de commande, soit écrire " $\bar{a}$ " un grand nombre de fois. Pour vérifier si un tel phénomène se produit dans la lame de 350 Å, nous commençons par étudier l'influence du nombre d'écritures dans plusieurs configurations.

2.1.3.1. Influence de l'information préalablement stockée.

Dans une cellule nous écrivons l'information $\bar{a}$ n fois. Ensuite nous écrivons dans la même cellule l'information a et nous faisons une lecture.

Les résultats sont résumés par la courbe suivante



A partir de deux opérations nous avons un palier. La zone d'inscription ne varie plus.

2.1.3.2. Champ de perturbation d'information

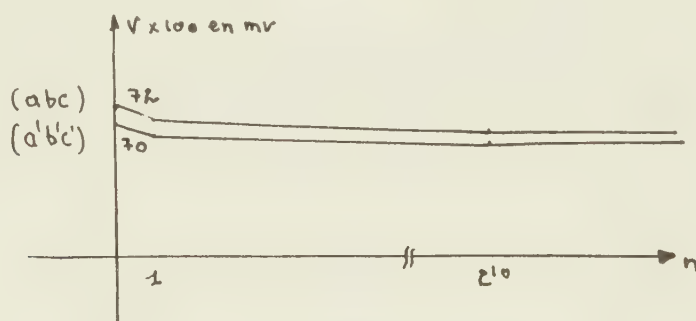
Nous avons vu que le champ de digit qui sert à fixer l'information de la cellule (m, i) constitue un champ de perturbation pour les cellules $(m \pm n, i)$. Nous utilisons pour ces essais le champ de digit nominal qui correspond à 100 mA dans le conducteur de digit. Nous effectuons les opérations suivantes :

- a) Ecrire "1" en (m, i) une fois
- b) Ecrire "0" en $(m + 1, i)$ n fois
- c) Lecture en (m, i) une fois

Dans ce cas, nous pouvons avoir l'influence du champ de digit superposé à l'influence des champs de fermeture de $(m - 1, i)$ au niveau de (m, i) . Alors nous faisons les essais suivants qui portent sur les mêmes cellules.

- a') Ecrire "0" en $(m + 1, i)$ n fois
- b') Ecrire "1" en (m, i) une fois
- c') Lecture en (m, i) une fois

Nous constatons que le premier cas est plus défavorable que le second. Les variations sur le signal de lecture sont très faibles quand n varie



A partir de 2^{10} opérations il n'y a plus de variations notables, la surface de la zone représentant la cellule ne varie pratiquement plus.

2.1.4. Comparaison des configurations

Cette manipulation porte sur trois cellules d'un même mot $(m, i - 1)$, (m, i) et $(m, i + 1)$. Nous étudions l'influence des cellules $(m, i \pm 1)$. Sur la cellule centrale on peut prévoir en statique que la deuxième configuration sera plus défavorable que la première.

A)

- 1) Ecrire "1" dans les trois cellules 2^{10} fois
- 2) Lecture en (m, i) une fois

B)

- 1') Identique à 1A
- 2') Ecrire "0" en $(m, i \pm 1)$ et 1 en (m, i) une fois
- 3') Lecture en (m, i)

Le signal de lecture dans le cas A est en moyenne de 1,4 mv et dans le cas B 0,95 mv. Il apparait une grande différence entre A et B; la variation est d'environ $1/3$. Nous voyons que la deuxième configuration est très défavorable.

Les opérations 1 et 1' ont pour but de mettre les cellules dans le même état avant d'écrire une information qui servira à la mesure. Le champ de fermeture a sa valeur maximale quand la zone représentant la cellule a sa surface maximale ce qui se produit quand on écrit un grand nombre de fois l'information. Comme la variation de la surface d'inscription n'est plus sensible après 2^{10} inscriptions nous nous sommes limités à cette valeur.

2.1.5. Etude des perturbations dues aux mots voisins

$$\textcircled{1} \quad \left\{ \begin{matrix} a \\ a \\ a \end{matrix} \right\}^m \quad \textcircled{2} \quad \left\{ \begin{matrix} \bar{a} \\ a \\ \bar{a} \end{matrix} \right\}^m$$

A la première séquence nous écrivons sur le mot $m - 1$. A la séquence 2 sur le mot $m + 1$.

Nous avons les deux groupes d'opérations suivants :

A)

- a) Ecrire a dans $(m + 1, i)$ 2^{10} fois
- b) Ecrire a dans $(m - 1, i)$ 2^{10} fois
- c) Ecrire a en (m, i) une fois
- d) Lire en (m, i)

B)

a') Ecrire $\bar{a}$ en $(m + 1, i)$ 2^{10} fois

b') Ecrire $\bar{a}$ en $(m - 1, i)$ 2^{10} fois

c') Ecrire a en (m, i) une fois

d') Lire en (m, i)

Les signaux de lecture ont sensiblement la même amplitude dans les deux cas. Le plus souvent les amplitudes sont les mêmes. Nous pouvons dire que dans le cas A le signal est plus grand d'une dizaine de μV . C'est à peu près la limite de précision que nous pouvons avoir.

Pour pouvoir étudier ces deux configurations il faudra augmenter la densité de mot.

2.1.6. Influence des cellules extrêmes.

Nous désignons pour cellules extrêmes les quatre cellules $(m \pm 1, i \pm 1)$.

Nous relevons le signal de lecture dans les deux groupes de configurations suivantes

		0	0	0
Configuration 1	$m \rightarrow$	1	1	1
		0	0	0

		1	0	1
Configuration 2	$m \rightarrow$	1	1	1
		1	0	1

		0	0	0
Configuration 1'	$m \rightarrow$	0	1	0
		0	0	0

		1	0	1
Configuration 2'	$m \rightarrow$	0	1	0
		1	0	1

Dans les configurations 1 et 2 les cellules extrêmes occupent des états complémentaires ainsi que dans 1' et 2'.

Nous trouvons que les configurations les plus défavorables sont 1 et 1' où les cellules extrêmes occupent des états complémentaires de la cellule centrale. Là encore les variations de 1 à 2 et de 1' à 2' sont très faibles.

2.1.7. Détermination des configurations défavorables par la méthode du champ continu.

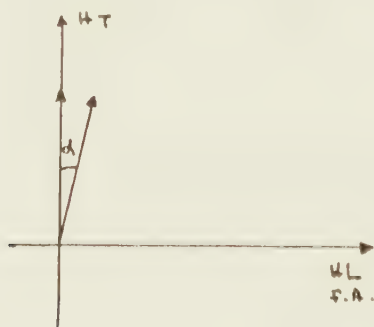
Cette méthode ne s'applique que si dans une configuration la cellule à tester est dans un état plus défavorable que les autres. Dans le cas contraire nous risquons de changer l'information dans une autre cellule avant celle de la cellule testée et dans ce cas la mesure n'aura pas de sens.

Soit une configuration C où la résultante des champs de perturbations est h sur la cellule centrale. Ce champ s'oppose à l'écriture de l'information en (m, i) et en réalité nous avons un champ de digit $H_i - h$ pour cette cellule. Si nous ajoutons alors un champ continu H_p opposé à H_i , nous pouvons annuler $H_i - h - H_p$ et détruire l'information. Dans une autre configuration nous aurons un champ de perturbation h' et il faudra un champ H'_p pour changer l'information. Nous pouvons alors déduire $h' - h$

$$h' - h = H_p - H'_p$$

Le champ H_p est produit par deux bobines. C'est un champ extérieur et nous le faisons varier en changeant le courant dans les bobines.

H_p reste faible devant H_m et l'influence de H_p sur le signal de lecture est négligeable, à la lecture H_m est constant et comme nous faisons des mesures par différence il est légitime de ne pas tenir compte de l'influence de H_p sur la lecture dans le cas où cette dernière serait appréciable.



l'aimantation tourne de $\pi/2$
sans H_p

l'aimantation tourne de $\pi/2 - \alpha$
avec H_p

$$\alpha \ll \frac{\pi}{2}$$

Cette étude correspond aux perturbations que l'on pourrait avoir avec le champ terrestre. Dans une configuration où nous écrivons "a" et "ā" dans différentes cellules, H_p est favorable à l'écriture de "a", elle est défavorable pour l'écriture de "ā"

Nous pourrions donc dire que la cellule centrale dans une configuration a un état plus favorable que dans une configuration C' si $H_p < H'_p$

Méthodes de mesures

Nous observons le signal de réinscription de la séquence où nous faisons la lecture.

Supposons que pour $H_p = 0$ nous avons un signal x dont l'amplitude est suffisante pour déclencher la diode tunnel. Quand nous augmentons H_p x diminue et quand nous arrivons très près du seuil de déclenchement x_0 nous pouvons réinscrire soit a soit ā. Le signal de réinscription se dédouble sur l'écran de l'oscilloscope. Si nous continuons à augmenter H_p , quand $x < x_0$ nous réinscrivons l'information contraire. Nous notons H_p juste quand la réinscription change complètement de polarité. Nous voyons que H_p dépend de x_0 mais aussi de H_i par courbe $v = f(H_i)$. Par suite tous les tests doivent être effectués dans les mêmes conditions. En outre les dimensions des bobines sont grandes devant celles de la lame de mémoire. Le champ H_p peut être considéré comme non perturbé par la présence de la matière magnétique du plan de mémoire.

2.1.7.1. Comparaison de $C = \{a, a, a\} \leftarrow m$ et $C' = \{\bar{a}, a, \bar{a}\} \leftarrow m$

Les opérations sont les mêmes que dans l'étude par le signal de lecture. Nous visualisons simultanément les deux lectures. En faisant croître H_p nous pouvons voir le signal de réinscription de (m, i) dans la configuration $C' = \{\bar{a}, a, \bar{a}\}$ changer de sens bien avant celle de (m, i) dans l'autre configuration $H_p - H'_p$ vaut en moyenne $30 m\alpha$

2.1.7.2. Nous avons déterminé d'une manière identique l'influence de l'état des cellules extrêmes et des cellules $(m+1, i)$ et $(m-1, i)$. Dans ces cas les variations de champ $H_p - H'_p$ sont beaucoup plus faibles; elles sont de l'ordre de $10 m\alpha$. Cette étude nous montre que la configuration la plus défavorable correspond à la suivante



2.1.7.3. Conclusion

Nous retenons que la densité de 22 tient bien l'information et que, avec les réseaux utilisés, la densité de digit est beaucoup plus critique que celle de mot. Une augmentation de la densité de mot est encore possible et nous permettra de voir la limite de cette densité.

2.2. Densité de 45 bits/cm²

Les conducteurs et le plan de mémoire ont les caractéristiques suivantes :

Réseau de digit : largeur 1 mm; pas 2,5 mm : { 1; 2,5 }

Réseau de mot : largeur 0,3 mm; pas 0,9 : { 93; 99 }

épaisseur de la couche de mémoire 300 Å; verre 150 μ

Compte tenu des résultats de la densité de 22 bits/cm² nous opérons d'une manière un peu différente. Le courant de mot garde toujours les mêmes caractéristiques et nous faisons varier les courants de digits. Les mesures portent toujours sur le signal de lecture. Les résultats sont résumés par des courbes dont les variables sont soit le nombre d'opérations, le courant d'information ou le champ continu de digit.

Avec les notations utilisées E correspond à une écriture, L à une lecture et l'information "a" correspond à un "1".

Exemple : $E_i(\bar{a}, a, \bar{a}) ; E_e(a, a, a) ; L_e(a, a, a) m$

A la séquence 1 on écrit sur le même mot 0 en $i - 1$, 1 en i et 0

A la séquence n° 2, on écrit 1, 1, 1 en $i - 1$, i , $i + 1$.

A la séquence de lecture on lit sur la cellule centrale ce qui a été écrit à la séquence n° 2.

Les valeurs portées dans les tableaux correspondent au signal de lecture multiplié par le gain de l'ampli de test qui est de 100.

2.2.1. Pour les opérations portant sur une cellule, il n'y a qu'un digit en fonctionnement. Les opérations intéressantes - compte tenu des renseignements de la maquette 22 bits/cm² - porteront sur les variations de la zone d'inscription de l'information.

Cas favorable : C'est le cas où l'on écrit un grand nombre de fois l'information a de manière à rendre maximale la zone de stockage. La première constatation est la très faible variation du signal de lecture en fonction du nombre d'écritures. A partir de 2⁰ écritures il n'y a plus de variation appréciable du signal de lecture.

Mesures : A la séquence n° 1 on écrit $\bar{a}$ dans la cellule choisie soit E₁ (a); à la séquence n° 2 on écrit a dans la même cellule; la lecture se fait à la troisième séquence :

$$E_1(\bar{a}) ; E_2(a) ; L_2(a)$$

Ces opérations ont été effectuées sur 10 cellules pour plusieurs valeurs du courant d'information.

Les courbes I₁ à I₆ résument les mesures avec comme variables m et I. On n'a constaté pratiquement aucune variation en fonction de n.

2.2.2. Opérations portant sur 3 cellules d'un même mot.

La première configuration est une généralisation de la précédente

$$\begin{aligned} E_1(\bar{a}, \bar{a}, \bar{a})_n \\ E_2(a, a, a)_m \\ L_2(a, a, a) \end{aligned}$$

Ici aussi les variations de m et n n'influent presque pas sur le signal de lecture avec les courants nominaux. La moyenne effectuée sur 15 groupes de 3 cellules est de 70 mV.

La deuxième opération est la suivante :

$$\begin{aligned} E_1(\bar{a}, \bar{a}, \bar{a}) \\ E_2(a, a, \bar{a}) \\ L_2(a, a, \bar{a}) \end{aligned}$$

La moyenne sur 15 groupes de 3 cellules (les mêmes que pour la configuration n° 1 du II) est de 63 mV.

La troisième opération généralise la précédente.

$$E_1(\bar{a}, \bar{a}, \bar{a})$$

$$E_2(\bar{a}, \underset{n}{a}, \bar{a})$$

$$L_2(\bar{a}, \underset{\uparrow}{a}, \bar{a})$$

On constate que le signal de lecture est plus sensible aux nombres d'écritures en E_2 que dans les deux premiers cas. Cependant pour la majorité des cellules il n'y a plus de variation pour $n > 2^4$

Tableau résumé. La moyenne est effectuée sur 15 groupes ou 3 cellules

n	2^0	2^1	2^4
Moyenne mV	39	42	44

On reprend la même opération ou l'on fait $n = 2^0$ et on fait varier le courant d'information pour la cellule centrale.

$$E_1(\bar{a}, \bar{a}, \bar{a})$$

$$E_2(\bar{a}, \underset{\uparrow}{a}, \bar{a}) \quad \text{Id variable en } (m, i)$$

$$L_2(\bar{a}, \underset{\uparrow}{a}, \bar{a})$$

Les courbes II₁ résument les résultats.

2.2.3. Opérations portant sur 9 cellules.

On utilise 3 mots et 3 digits.

On essaie de déterminer la configuration dynamique la plus défavorable. Afin de mettre en évidence l'influence des diverses perturbations, on commence par les configurations que l'on sait être - à priori - les plus favorables. Pour chaque configuration on étudie l'effet de la superposition d'un champ continu défavorable.

Configuration n° 1

$$m \rightarrow \begin{array}{ccc} a & a & a \\ a & a & a \\ a & a & a \\ & \uparrow i \end{array}$$

$$E_1 (a a a) = E_2 = E_3$$

$L_1 (a a a)$ Lecture sur cellule centrale.

Voir courbe n° III₁.

Configuration n° 2

$$m \rightarrow \begin{array}{ccc} \bar{a} & a & a \\ \bar{a} & a & a \\ \bar{a} & a & a \\ & \uparrow i \end{array}$$

$$E_1 (\bar{a} a a) = E_2 = E_3$$

L_1 Lecture cellule centrale
courbes III.2

Configuration n° 3

$$m \rightarrow \begin{array}{ccc} \bar{a} & a & \bar{a} \\ \bar{a} & a & \bar{a} \\ \bar{a} & a & \bar{a} \\ & \uparrow i \end{array}$$

$$E_1 (\bar{a} a \bar{a}) = E_2 = E_3$$

$L_1 (\bar{a} a \bar{a})$ Lecture cellule centrale.
Courbes III.3

Configuration n° 4

$$m \rightarrow \begin{array}{ccc} a & a & a \\ \bar{a} & a & \bar{a} \\ a & a & a \\ & \uparrow i \end{array}$$

$$E_1 \quad (\bar{a} \ a \ \bar{a})$$

$$E_2 = E_3 \quad (a \ a \ a)$$

$$L_1 \quad (a \ a \ a) \quad \text{cellule centrale}$$

Courbes n° III.4

Configuration n° 5a

$$m \rightarrow \begin{array}{ccc} \bar{d} & \bar{a} & \bar{a} \\ \bar{d} & a & \bar{a} \\ \bar{d} & \bar{a} & \bar{a} \\ & \uparrow i & \end{array}$$

$$E_1 \quad (\bar{a} \ a \ \bar{a})$$

$$E_2 = E_3 \quad (\bar{a} \ \bar{a} \ \bar{a})$$

$$L_1 \quad (\bar{a} \ a \ \bar{a}) \quad \text{Cellule centrale}$$

Courbes n° III.5

Configuration 5b. Cette configuration est identique à la 5a qu'on a constatée comme la plus défavorable. Ici on fait varier le courant d'information de la cellule centrale

$$m \rightarrow \begin{array}{ccc} \bar{d} & \bar{a} & \bar{a} \\ \bar{d} & a & \bar{a} \\ \bar{d} & \bar{a} & \bar{a} \\ & \uparrow i & \end{array}$$

$$E_1 \quad (\bar{a} \ a \ \bar{a})$$

$$E_2 \quad (\bar{a} \ \bar{a} \ \bar{a}) = E_3$$

$$L_1 \quad (\bar{a} \ a \ \bar{a}) \quad \text{sur cellule centrale.}$$

Courbes III.6

Configuration 5c.

Il s'agit toujours de la même configuration n° 5. Ici on fait varier les courants digits $Idi - 1$ et $Idi + 1$.

Le courant Idi garde sa valeur nominale.

Voir courbes III.7

Les essais sur l'ordre d'écriture, dans la configuration 5, montrent que c'est la configuration

$$\begin{aligned} E_1 & (\bar{a} \ a \ \bar{a}) = E_3 \\ E_2 & (\bar{a} \ a \ \bar{a}) \\ L_2 & (\bar{a} \ a \ \bar{a}) \end{aligned}$$

qui est la plus défavorable. Mais la différence entre cette configuration et la 5a est très faible.

Nous constatons, dans le cas de la densité de 45 bits/cm², que nous avons deux types de perturbations.

Comme dans le cas de la densité 22 bits/cm² il y a une grande différence sur le signal de lecture suivant que la configuration de digit est favorable ou défavorable. Les perturbations de mot, presque inexistantes pour le réseau de mot $\{0,5; 1,5\}$, apparaissent dans la densité de 45 bits/cm².

Nous attribuons ces variations à deux facteurs : le champ d'étalement et les champs internes ou champs démagnétisants. Il importe d'étudier l'influence respective de ces deux facteurs.

En résumé nous trouvons que la configuration la plus défavorable est la suivante :

$$C = \begin{array}{ccc} \bar{a} & \bar{a} & \bar{a} \\ \bar{a} & a & \bar{a} \\ \bar{a} & \bar{a} & \bar{a} \end{array} \text{ mot}$$

$C \times 100$
mV

$E_1(a)$ $E_2(a)$ $L_2(a)$
(n var.)
($I_D = 60 \text{ mA}$)

- ① Valeur maximum sur 6 cellules
- ② Valeur moyenne sur 6 cellules
- ③ Valeur minimum sur 6 cellules





- ① Valeur maximum sur 6 cellules.
- ② Valeur moyenne sur 6 cellules.
- ③ Valeur minimum sur 6 cellules.



MEMOIRE 43 bits/cm² I.3

$Q \times 100$
mV

①
②
③

$F_1(a)$ $F_2(a)$ $I_2(a)$
(I_0, I_d)

- ① Valeur maximum sur 6 cellules
- ② Valeur moyenne sur 6 cellules
- ③ Valeur minimum sur 6 cellules

I_d
mA

300

200

100

50

60

50

40

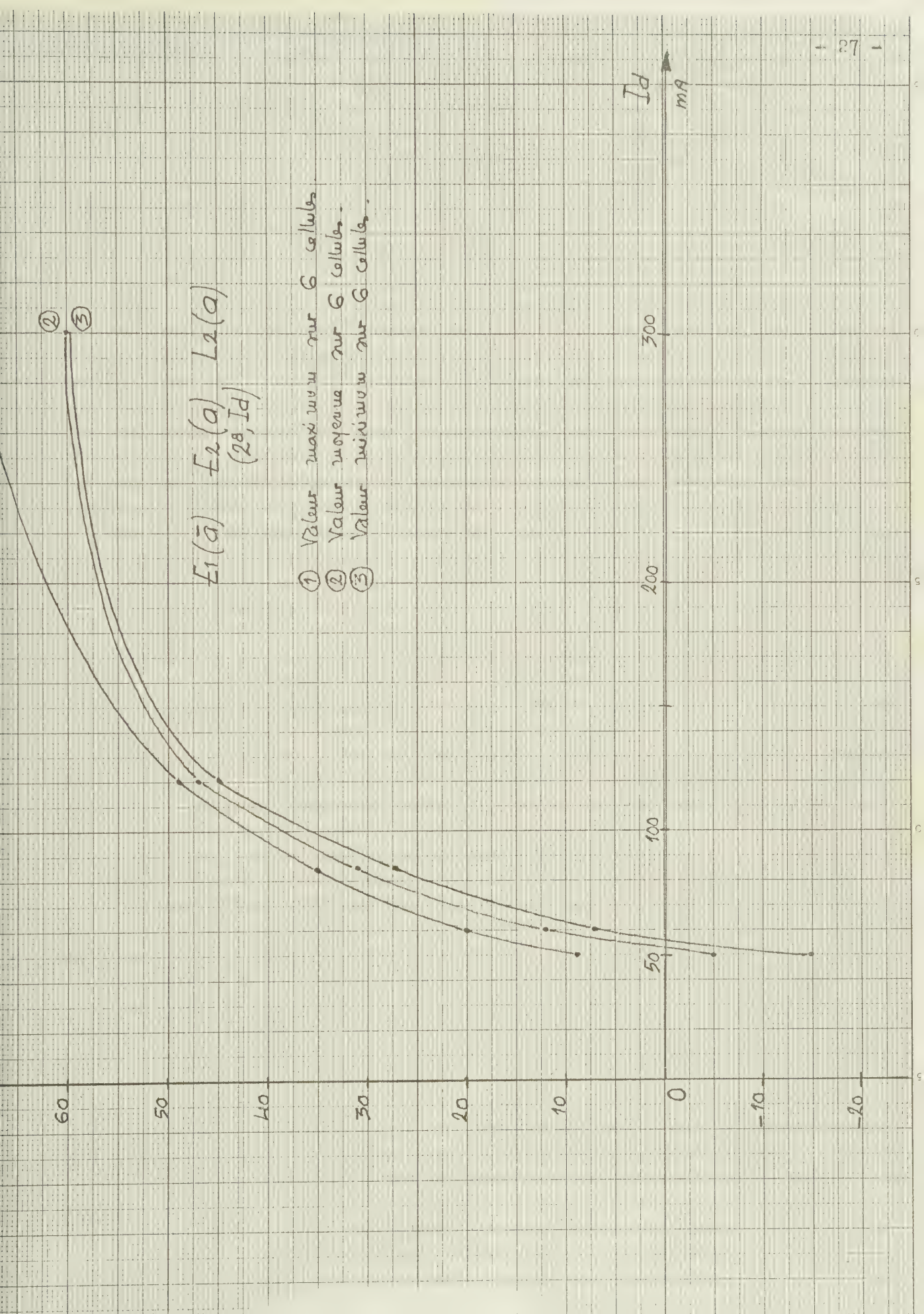
30

20

10

0

-10



MEMOIRE 45 bits/cm²

$\sigma \times 100$
mV

①
②
③

$f_1(\bar{a})$ $f_2(a)$ $L_2(a)$
($2^2, I_d$)

- ① Valeur maximum sur 6 cellules
- ② Valeur moyenne sur 6 cellules
- ③ Valeur minimum sur 6 cellules

I_d
km

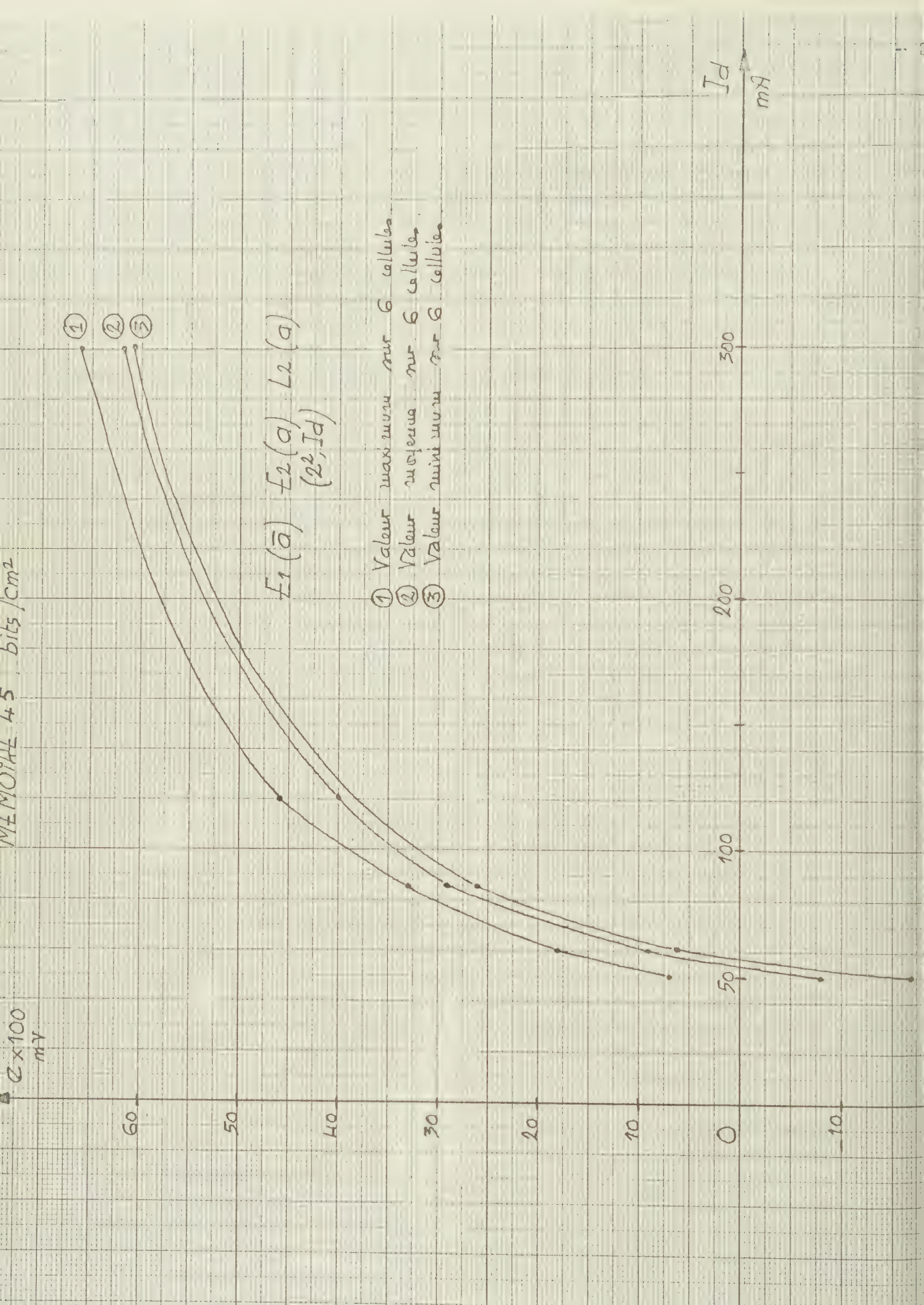
300

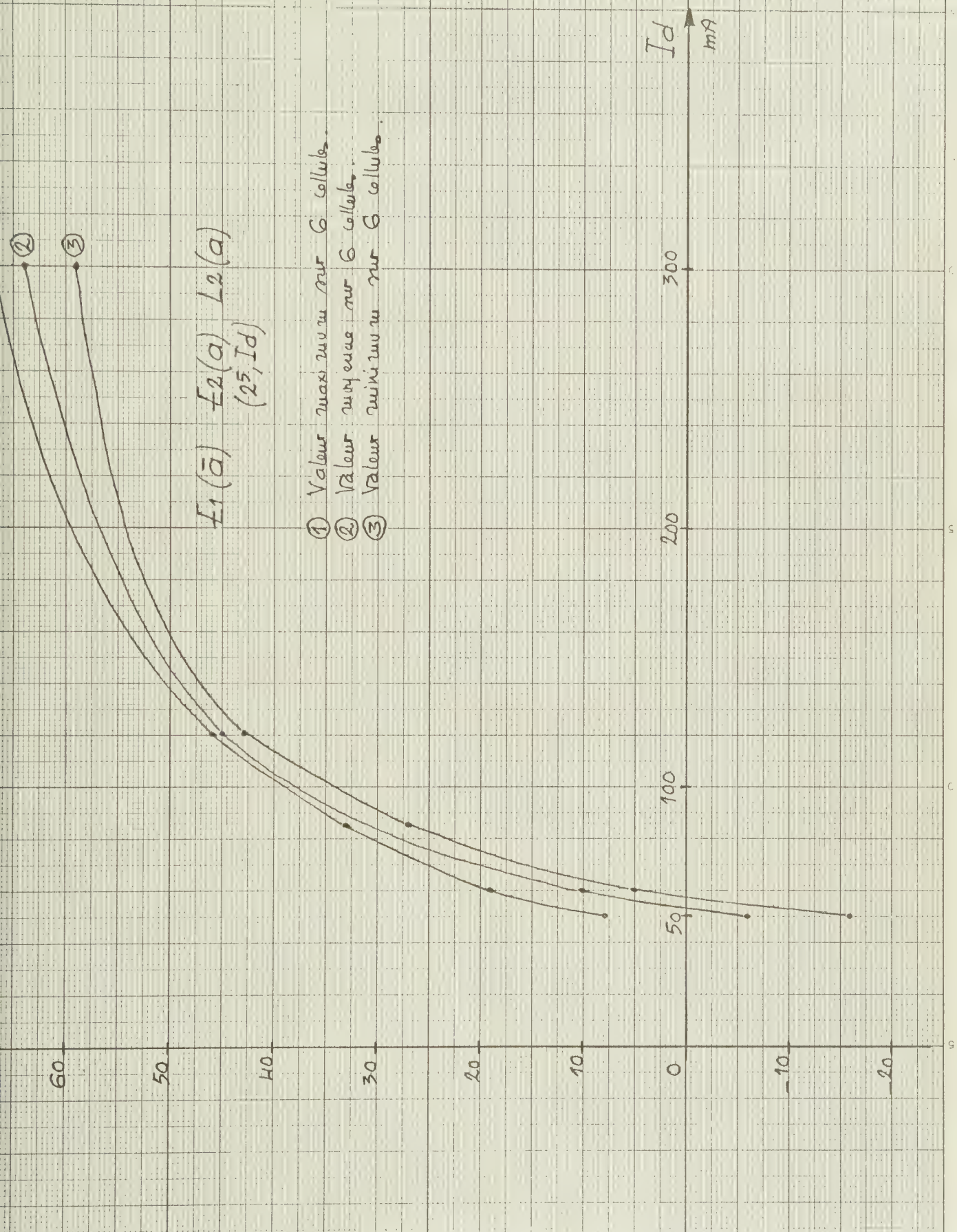
200

100

50

10

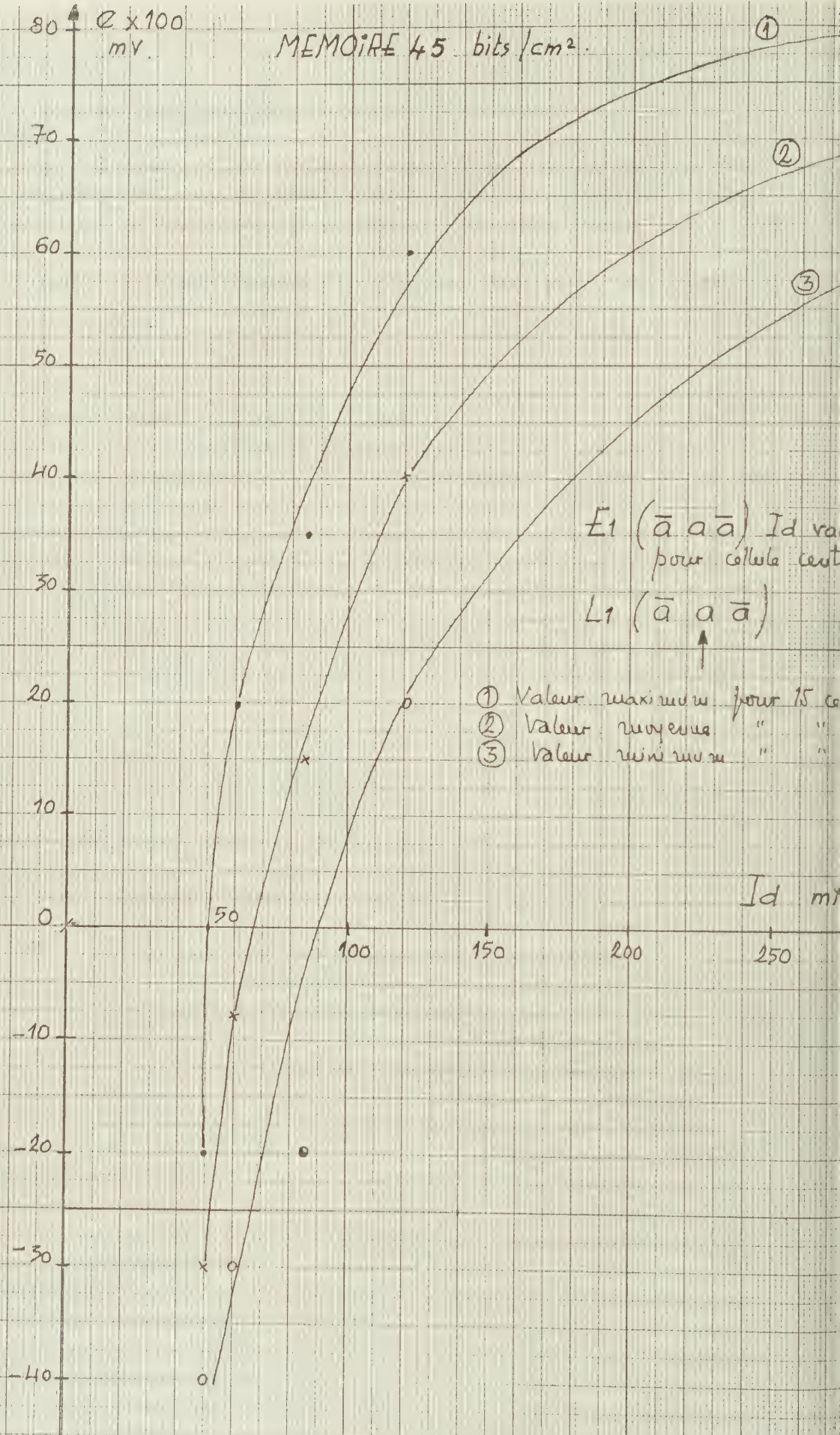




$f_1(\bar{a})$ $f_2(a)$ $L_2(a)$
(25, I_d)

- ① Valeur maximum sur 6 cellules.
- ② Valeur moyenne sur 6 cellules.
- ③ Valeur minimum sur 6 cellules.

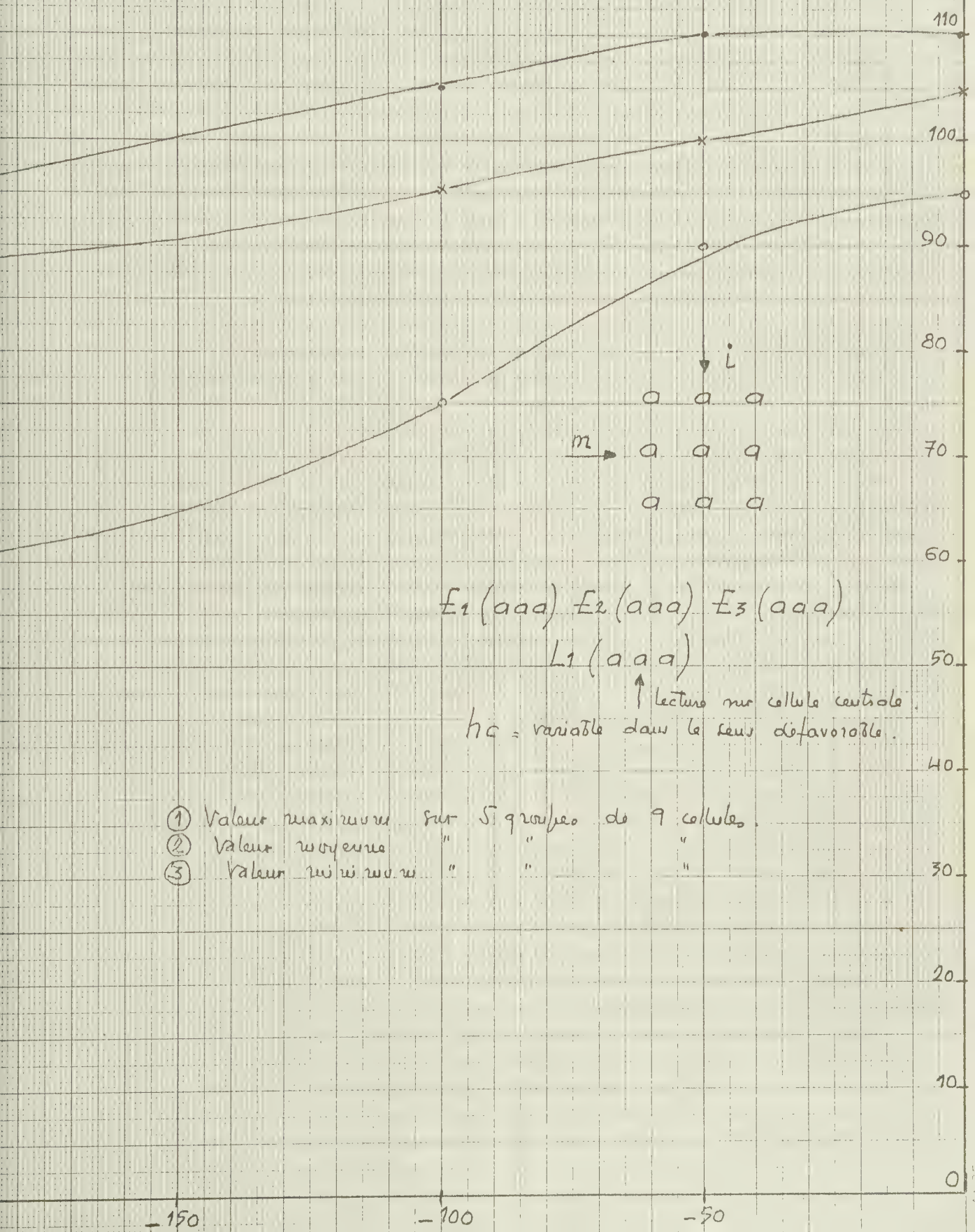
II 1



III. 1

MEMOIRE 45 bits/cm²

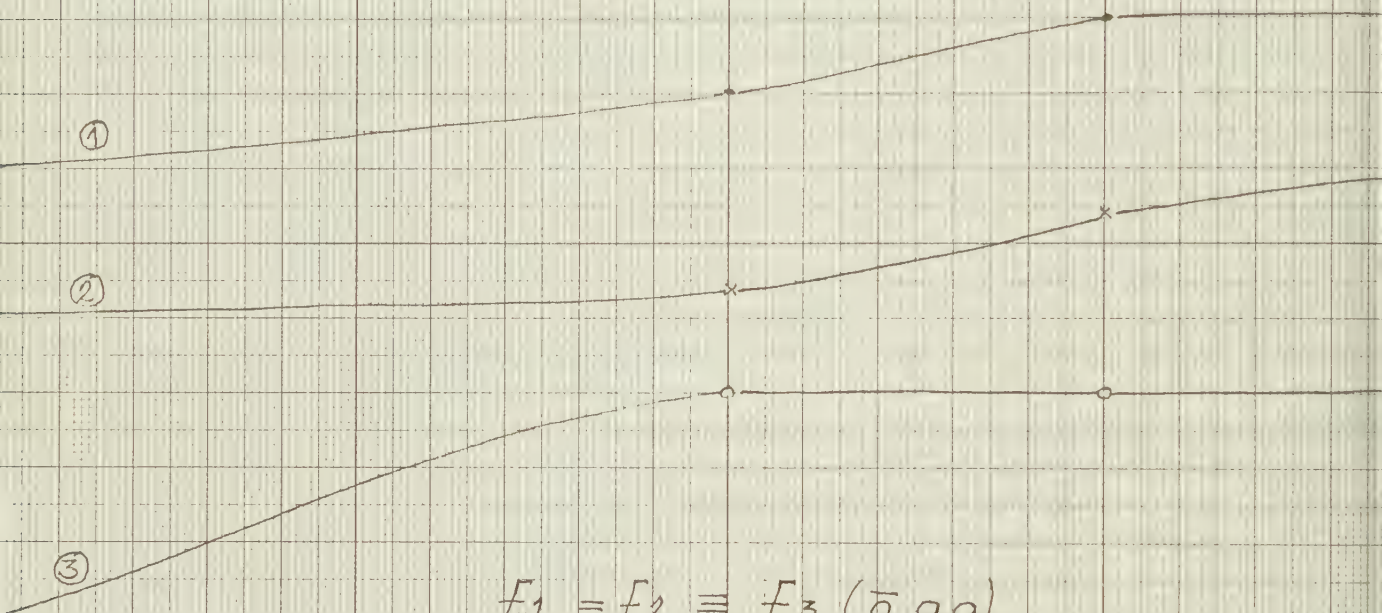
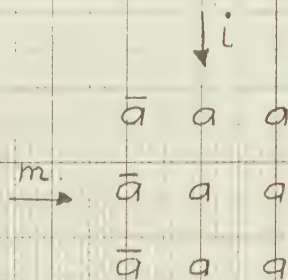
$Q \times 100^{-31}$
mV



III. 2

MEMOIRE 45 bits/cm²

2 x 1
m



$$E_1 = E_2 = E_3 (\bar{a} a a)$$

$$L_1 (\bar{a} a a)$$

↑ lecture sur cellule centrale.

hc variable.

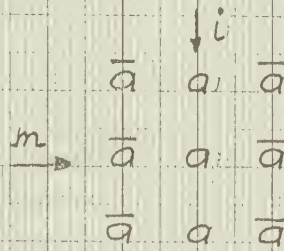
- ① Valeur maximum sur 5 groupes de 9 cellules
- ② Valeur moyenne " " "
- ③ Valeur minimum " " "

hc mCE

MEMOIRE 45 bits/cm²

III.3

$Q \times 100$
mV

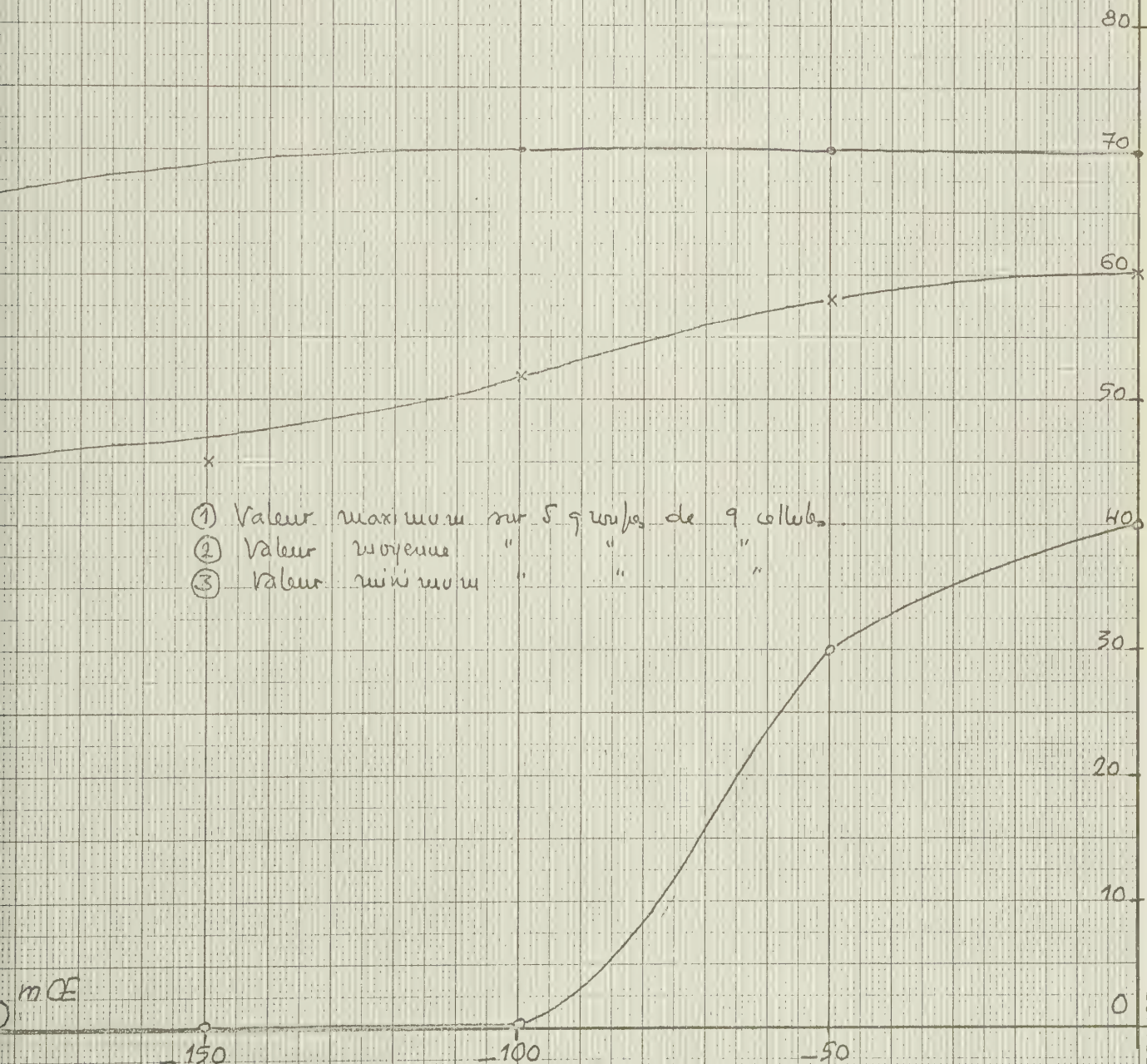


$$E_1(\bar{a} a \bar{a}) \equiv E_2 \equiv E_3$$

$$L_1(\bar{a} a \bar{a})$$

↑ lecture sur cellule centrale.

hc variable.



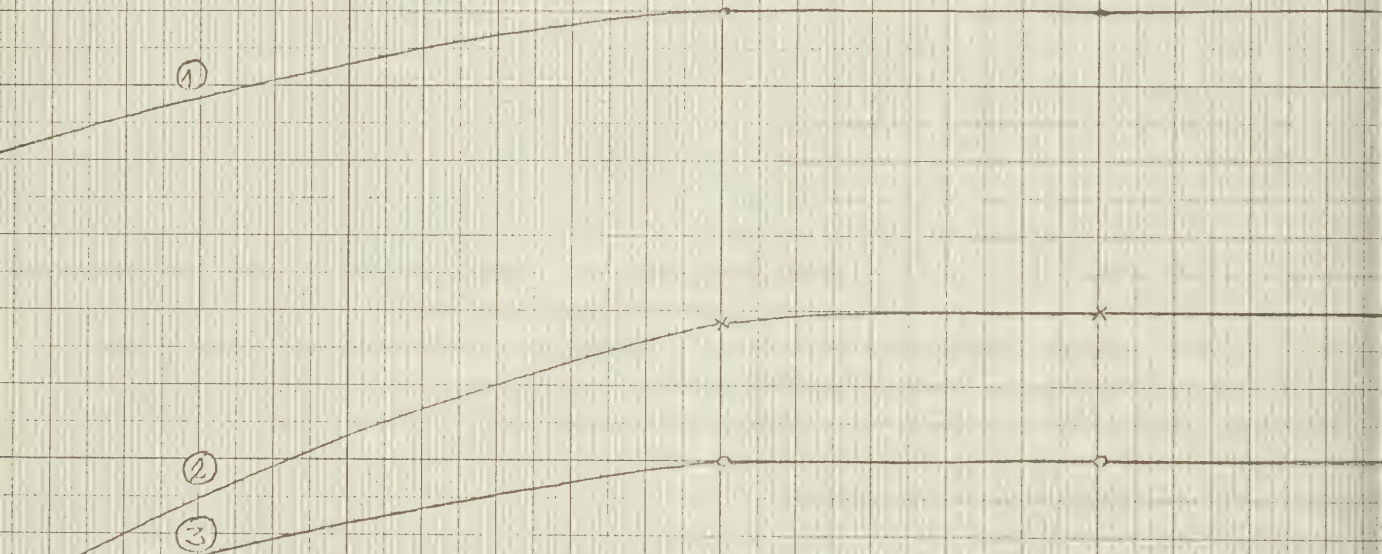
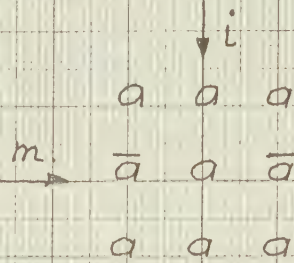
- ① Valeur maximum sur 5 groupes de 9 cellules
- ② Valeur moyenne " " "
- ③ Valeur minimum " " "

mCE

FRANCE

MEMOIRE 45 bits/cm²

0 x
m



$$E_1 (\bar{a} \ a \ \bar{a})$$

$$E_2 \equiv E_3 (a \ a \ a)$$

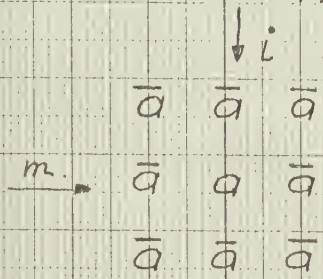
$$L_1 (\bar{a} \ a \ \bar{a})$$

↑ lecture sur cellule centrale.

- ① Valeur maximum sur 5 groupes de 9 cellules.
- ② Valeur moyenne " " " "
- ③ Valeur minimum " " " "

MEMOIRE 45 bits/cm².

- 35
Q x 100
mV



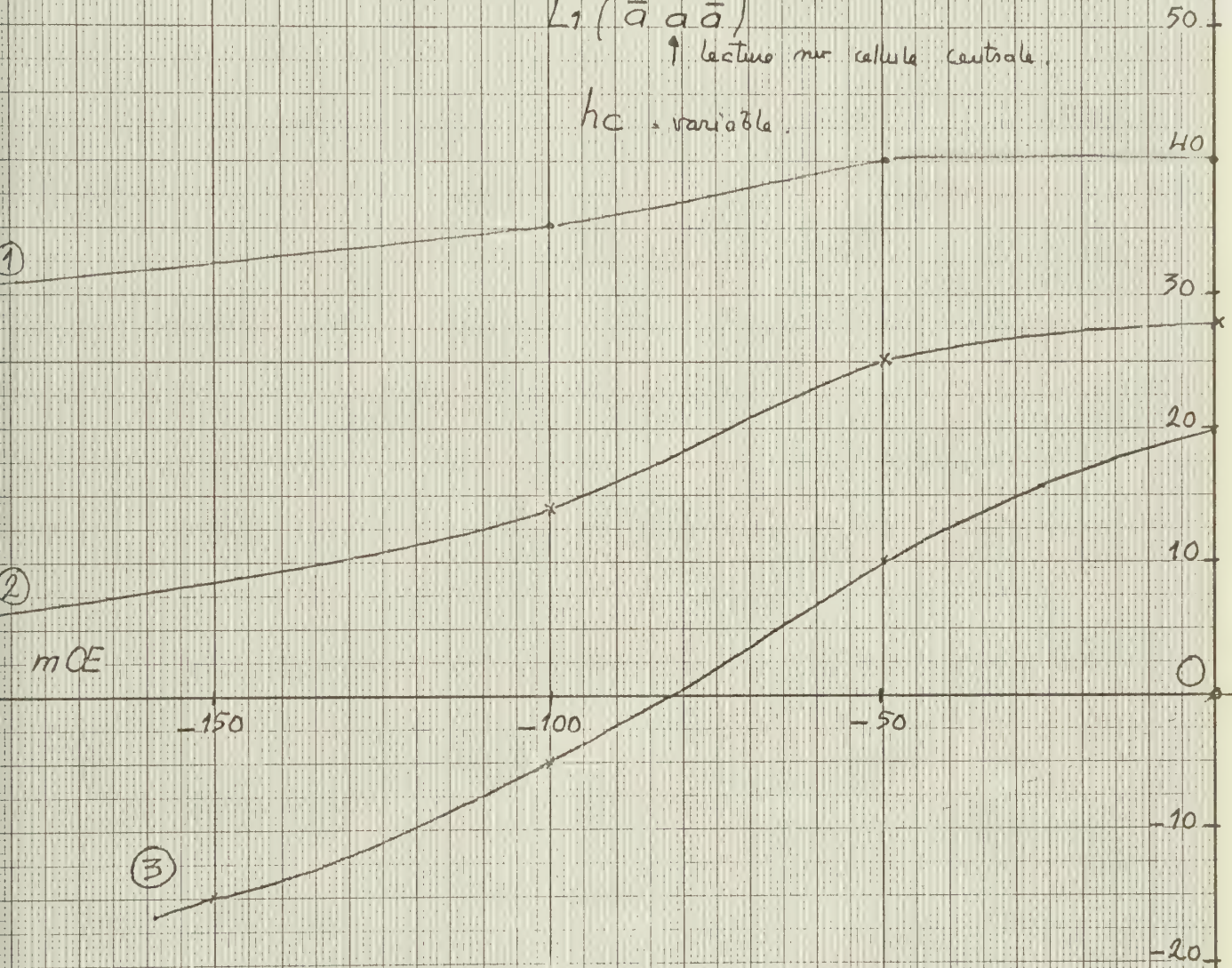
$$E_1 (\bar{a} a \bar{a})$$

$$E_2 \equiv E_3 (\bar{a} \bar{a} \bar{a})$$

$$L_1 (\bar{a} a \bar{a})$$

↑ lecture sur cellule centrale.

hc = variable.



- ① Valeur maximum sur 5 groupes de 9 cellules.
- ② Valeur moyenne " " " "
- ③ Valeur minimum " " " "

$Q \times 100$
mV

MEMOIRE 45 bits/cm²

m_i →
 $\bar{a} \bar{a} \bar{a}$
 $\bar{a} \bar{a} \bar{a}$
 $\bar{a} \bar{a} \bar{a}$

$E_1(\bar{a} \bar{a} \bar{a})$

$E_2(\bar{a} \bar{a} \bar{a}) \equiv E_3$

$L_1(\bar{a} \bar{a} \bar{a})$

I_d variable cellule centrale
 lecture sur cellule centrale

I_d

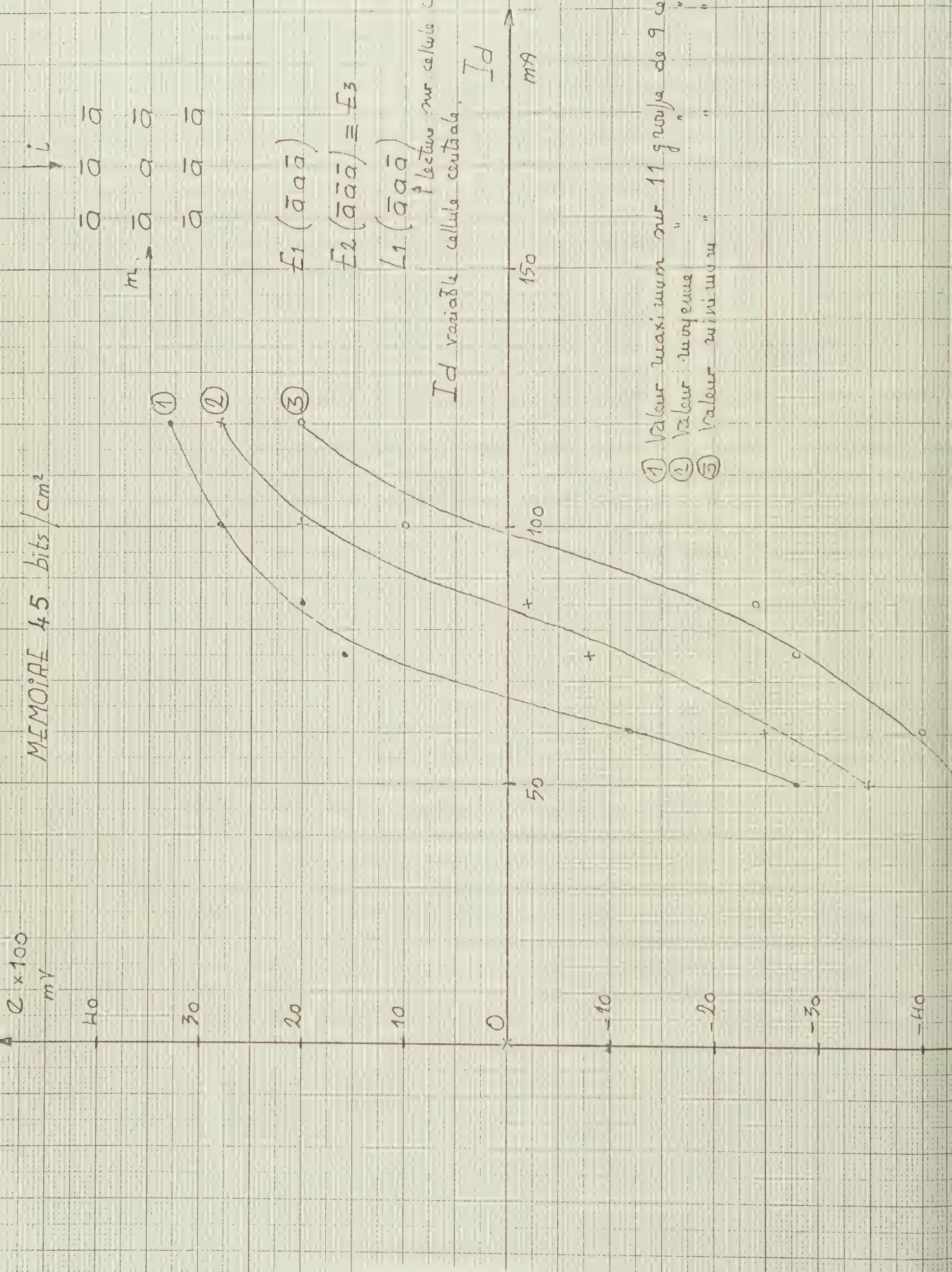
mA

- ① Valeur maximum sur 11 groupe de 9 cellules
- ② Valeur moyenne "
- ⑤ Valeur minimum "

①

②

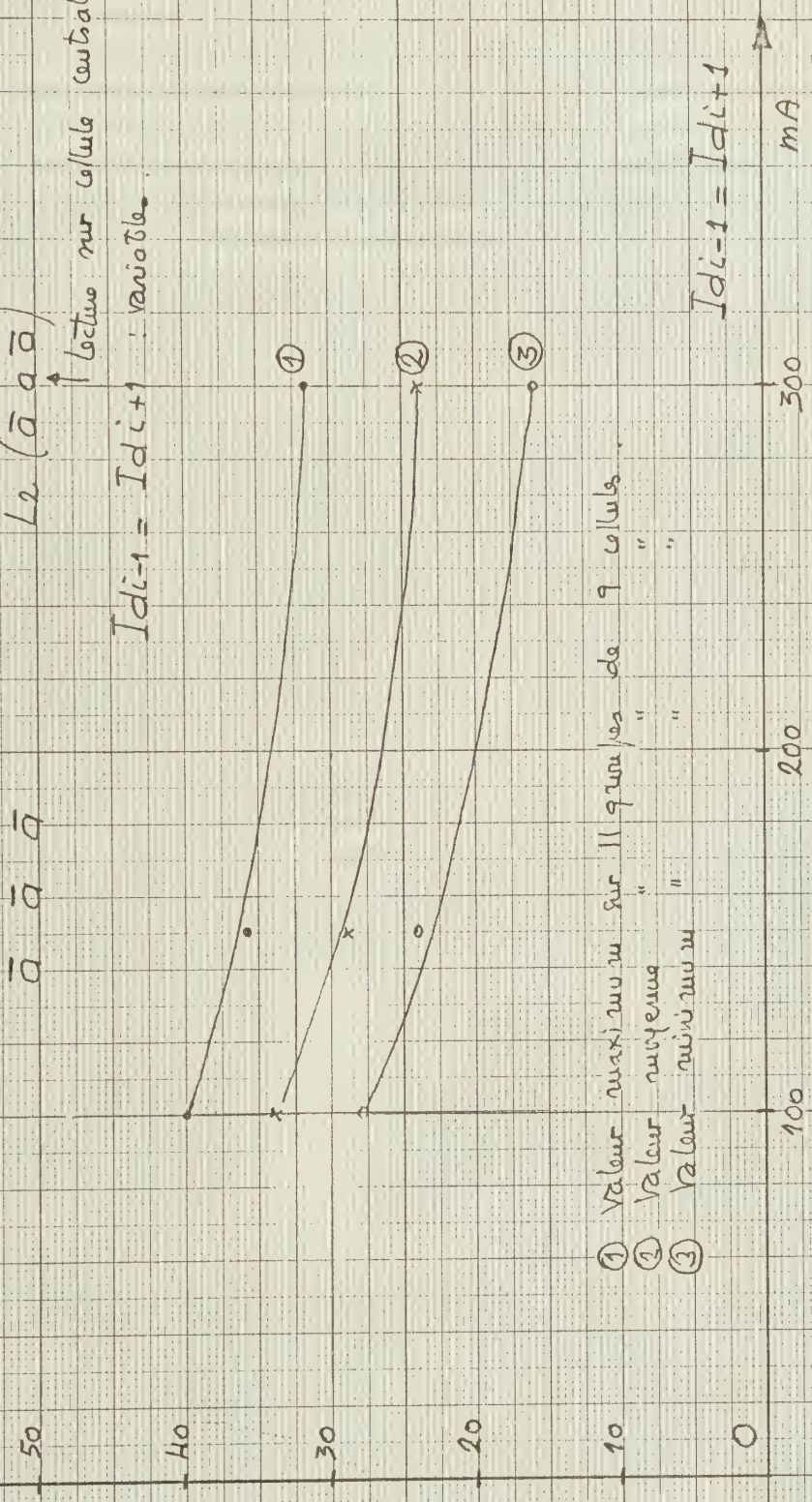
③



$\vec{m} \rightarrow$
 $\vec{L} \rightarrow$
 $L_1 (aaa)$
 $E_1 (\bar{a} a \bar{a})$
 $E_3 (\bar{a} \bar{a} \bar{a})$
 $L_2 (\bar{a} a \bar{a})$

lecture sur cellule centrale.

$I_{di-1} = I_{di+1}$: variable.



- ① Valeur maximum sur 11 groupes de 9 " "
- ② Valeur moyenne " "
- ③ Valeur minimum " "

$I_{di-1} = I_{di+1}$

mA

CHAPITRE 3

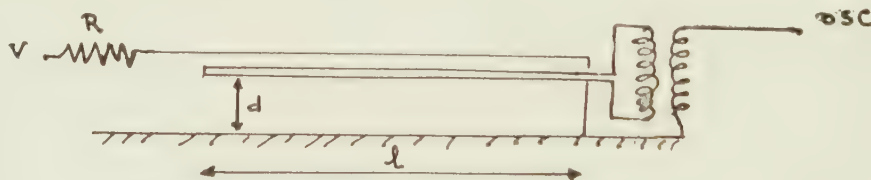
EVALUATION DES CHAMPS APPLIQUES

Les champs produits par les conducteurs peuvent s'étendre - suivant les conducteurs et les configurations - bien au-delà de la zone où l'on voudrait que leur action se limite. L'amplitude des champs de commande de la cellule (m,i) peut ne pas être négligeable au niveau des cellules $(m \pm 1, i \pm 1)$. Nous allons, dans ce qui suit, déterminer l'importance de l'étalement du champ pour un réseau $\{1,2,5\}$ très proche des réseaux de digit que nous avons utilisés dans l'étude des deux densités décrites plus haut.

3.1. Principe des mesures

A l'aide d'une boucle de prélèvement placée sous le conducteur central d'un réseau de trois conducteurs, nous pouvons atteindre le champ en relevant la tension induite dans la boucle. Dans le cas où le conducteur central est alimenté, nous avons vu au chapitre 1 que cette tension résulte de deux couplages : un couplage capacitif et un couplage inductif. Ici nous cherchons à garder uniquement le couplage inductif.

Nous plaçons la résistance qui définit le courant dans le conducteur de manière à avoir de faibles variations de tension le long du conducteur. Nous diminuons la longueur de ce dernier (4 cm). Les conducteurs de la boucle de prélèvement sont étroits (100μ) de manière à diminuer la capacité de couplage entre les conducteurs. Le schéma du dispositif est donné par la figure suivante



Nous pouvons faire varier la distance d . La boucle de prélèvement est solidaire du conducteur. La distance entre les deux systèmes est fixée à 50μ . Les selfs sont très faibles et les constantes de temps très faibles n'altèrent pas la forme des signaux.

La hauteur de la boucle de prélèvement est de l'ordre de 50μ . Comme le conducteur à 1 mm de large nous pouvons considérer le champ comme constant sur la surface de la boucle de prélèvement. Soit h la valeur de ce champ. La tension induite dans la boucle vaut :

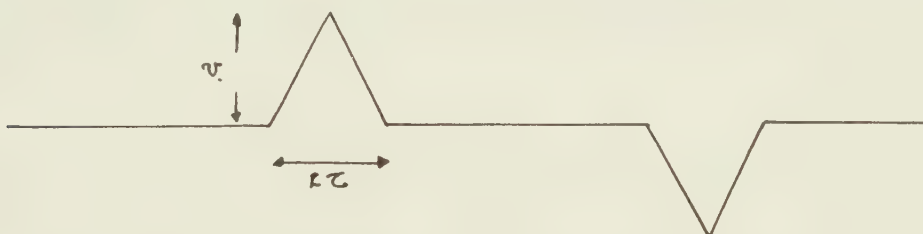
$$v = - \frac{d\phi}{dt} = -\mu_0 S \frac{dh}{dt}$$

d'où

$$h = - \frac{1}{\mu_0 S} \int v dt$$

La détermination de S est imprécise. C'est pourquoi nous ne faisons que des mesures relatives où S n'intervient pas implicitement. En outre comme le champ est proportionnel au courant nous ne faisons pas la correspondance champ-courant et nous notons seulement le courant.

La tension recueillie aux bornes de la boucle de prélèvement a la forme suivante



Nous avons
$$\int_0^{2\tau} v dt \approx \frac{1}{2} v \times 2\tau = v\tau$$

τ est constant. Il nous suffira de noter l'amplitude v du signal recueilli.

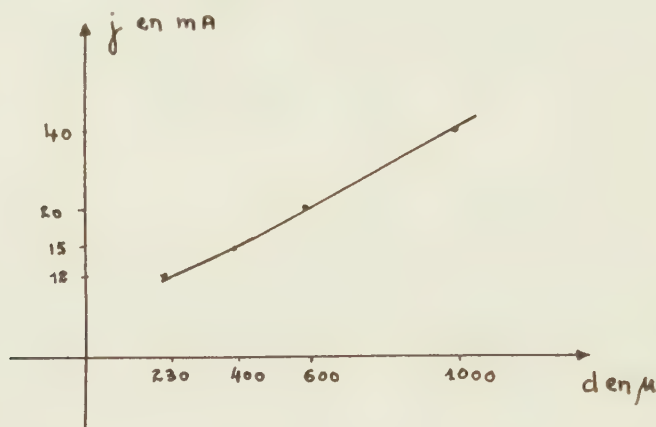
3.2. Evaluation du champ d'étalement en fonction de d

Nous désignons comme d'habitude le conducteur central par i et les conducteurs latéraux par $i + 1$ et $i - 1$.

Le conducteur central étant débranché, nous envoyons un courant de 200 mA dans les conducteurs $i - 1$ et $i + 1$. Pour une distance d donnée nous mesurons l'amplitude v_p de la tension recueillie. Ensuite nous débranchons $i - 1$ et $i + 1$ et nous envoyons un courant de 200 mA dans le conducteur i et nous notons la tension V_c . Dans une troisième mesure nous déterminons le courant j qu'il faut pour avoir une tension v_p .

Le courant j représente le courant qu'il faut en i pour évaluer l'effet du champ d'étalement des conducteurs latéraux au niveau du conducteur i

La courbe suivante résume les mesures

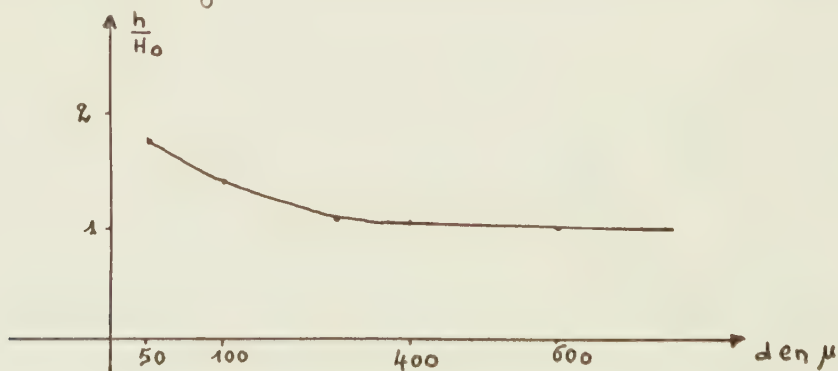


Dans le cas de $d = 230 \mu$ qui correspond à ce que nous avons couramment (150μ de verre, 50μ pour le prélèvement et 25μ de mylar pour le conducteur de mot) le rapport du champ d'étalement au champ créé par i vaut $12/40 \approx 1/60$, ce qui montre que l'effet d'étalement n'est pas négligeable.

3.3. Champ créé par i en fonction de la distance d

Le montage et les mesures précédentes nous permettent d'évaluer le champ créé juste sous le conducteur suivant la distance d .

Nous désignons par H le champ créé pour $d = 1000 \mu$. Quand nous diminuons d nous constatons que le champ augmente et pour $d = 50 \mu$ nous avons un champ de $1,85 H_0$.



Nous nous limitons à un temps de montée $\tau = 12 \text{ ns}$, ce qui correspond aux fronts que nous utilisons dans les tests pour le courant de mot.

Cet effet de doublement du champ quand le conducteur est très près de la masse n'est pas nouveau. Il a été trouvé par d'autres personnes qui ont utilisé d'autres méthodes de mesures et aussi théoriquement.

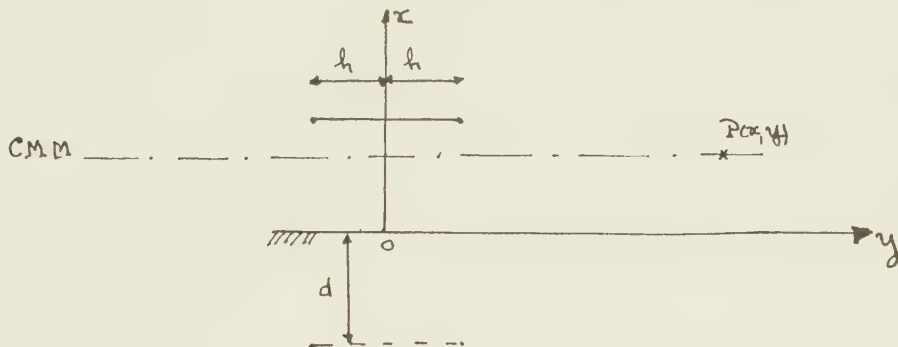
En conclusion, nous voyons que le fait de rapprocher le conducteur de la masse a une double influence : pour un même courant I l'étalement diminue et le champ utile augmente. Le rapport champ d'étalement/champ utile décroît très vite.

Par suite le doublement du champ en transitoire rapide quand le conducteur est près de la masse est favorable.

3.4. Etude théorique du champ

Quand on utilise des fronts de faible temps de montée pour tenir compte du doublement du champ nous ajoutons un conducteur symétrique du conducteur par rapport à la masse.

Nous considérons aussi que le champ dû au courant en impulsion est sensiblement le même que le champ dû à un courant continu de même amplitude.



Le champ en $P(x, y)$ vaut :

$$H = \frac{I}{4\pi h} \left[\operatorname{arctg} \frac{y+h}{x+d} + \operatorname{arctg} \frac{y+h}{d-x} - \operatorname{arctg} \frac{y-h}{d+x} - \operatorname{arctg} \frac{y-h}{d-x} \right]$$

En posant

$$Y = \frac{y}{h}$$

$$X = \frac{x}{h} ; D = \frac{d}{h}$$

Pour $I = 1 \text{ A}$, en MKSA , nous avons

$$f(y) = 4\pi h H = \arctg \frac{y+1}{D+x} + \arctg \frac{y+1}{D-x} - \arctg \frac{y-1}{D+x} - \arctg \frac{y-1}{D-x}$$

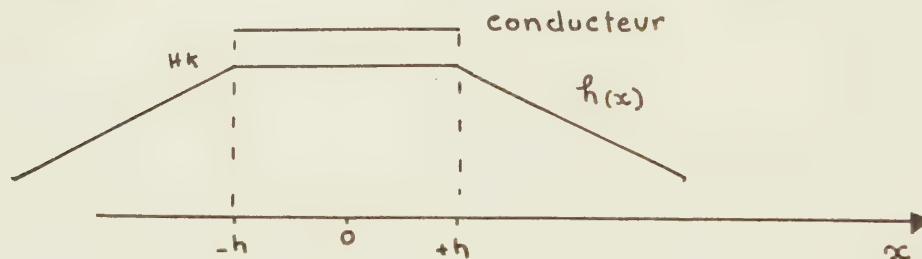
$\{D, x\}$

Nous appelons X et D variables de configuration ou de champ.

Nous avons tracé les réseaux de courbes $f(y)$. En utilisant la méthode décrite plus haut, nous avons tracé avec les courbes théoriques des courbes expérimentales. Nous prenons comme référence la valeur du champ théorique déterminé pour $y = 0$ quand nous avons $D \approx X \approx 0$

L'accord entre les courbes théoriques et expérimentales est bon pour $D \leq 2$.

En pratique nous avons toujours $D \leq 1$. En outre pour $y \in [1, 3]$ nous voyons que nous pouvons assimiler $f(y)$ à un segment de droite. Ces résultats nous serviront par la suite dans des calculs théoriques. Nous utiliserons les courbes théoriques avec l'approximation d'un étalement linéaire pour $y \in [1, 3]$. Nous représenterons le conducteur de largeur $2h$ et la courbe du champ comme l'indique la figure suivante

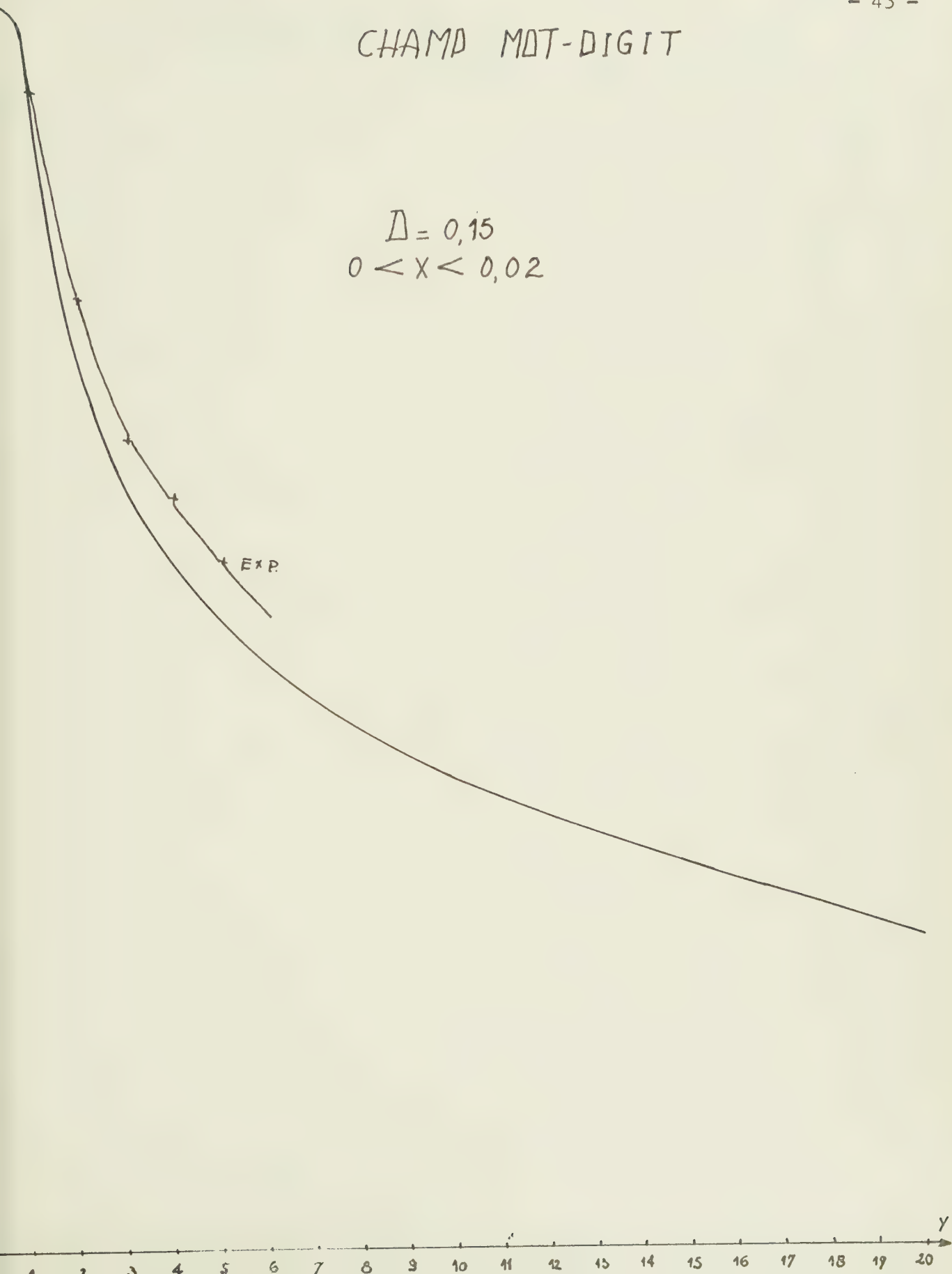


En général en DRO nous avons $h(x) \geq H_K$ pour $x \in [-h, +h]$ et nous nous contentons, dans cet intervalle, de représenter le champ par un palier d'ordonnée H_K .

CHAMP MDT-DIGIT

$$\Delta = 0,15$$

$$0 < x < 0,02$$

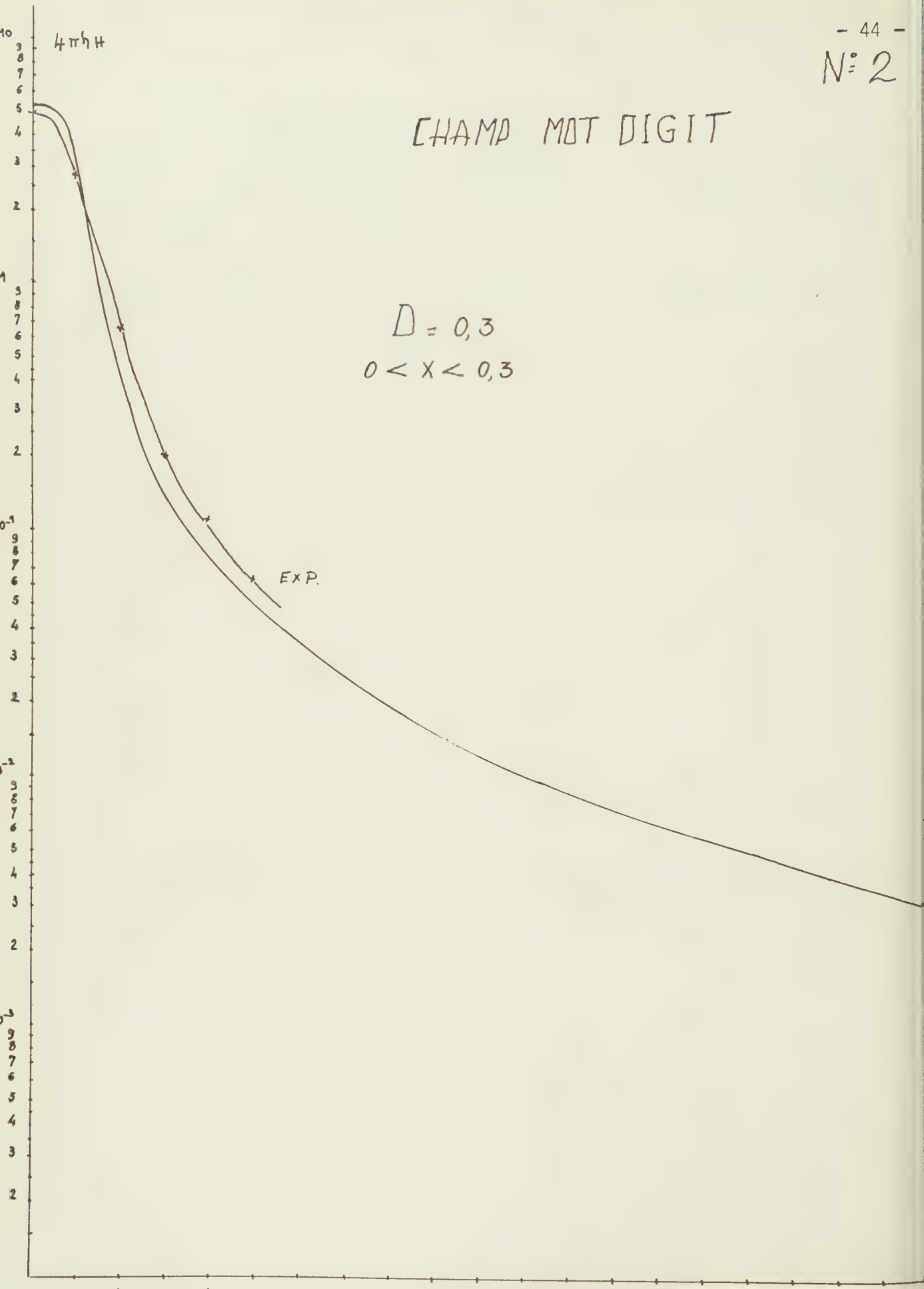


Nº 2

CHAMP MOT DIGIT

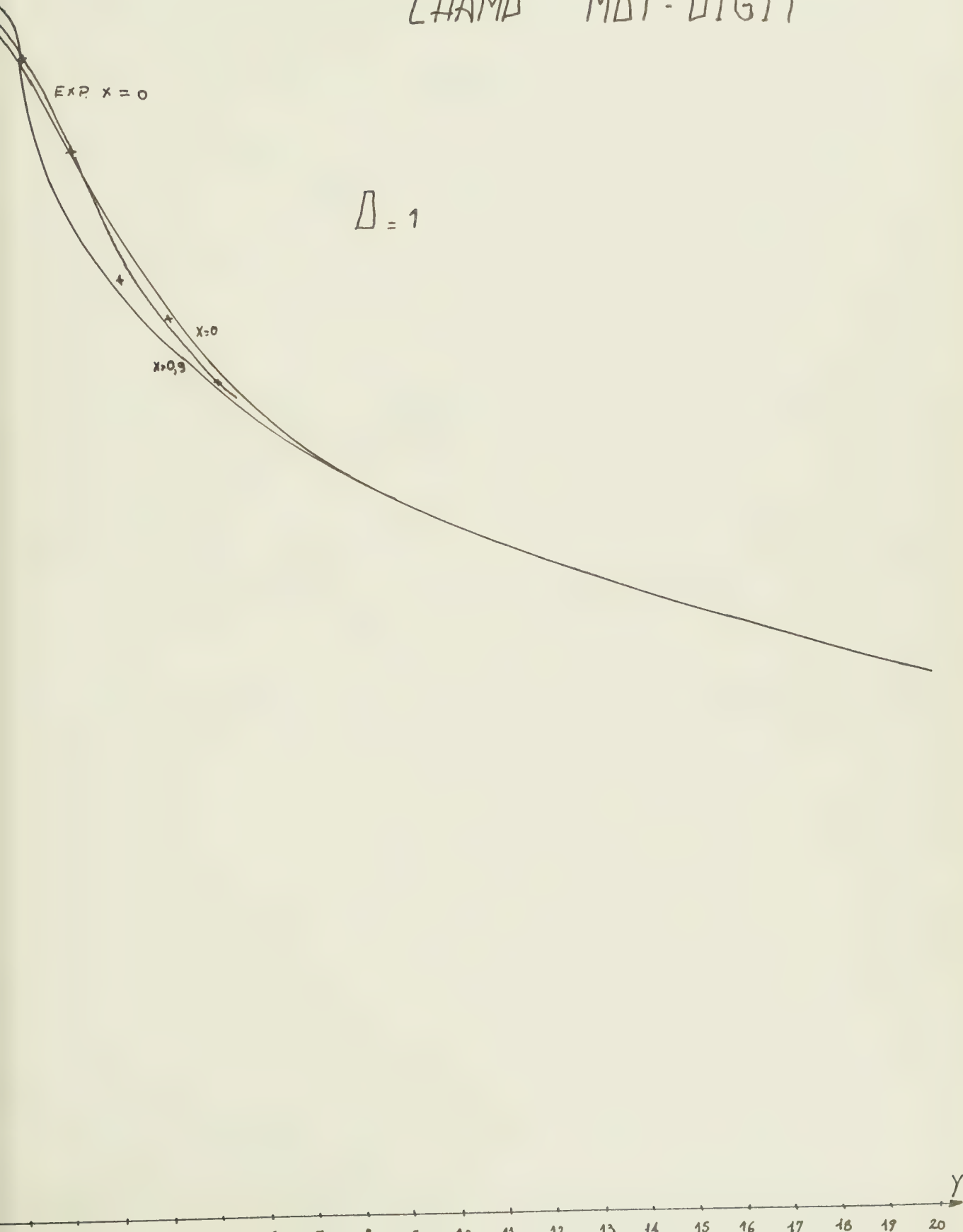
$$D = 0,3$$

$$0 < X < 0,3$$



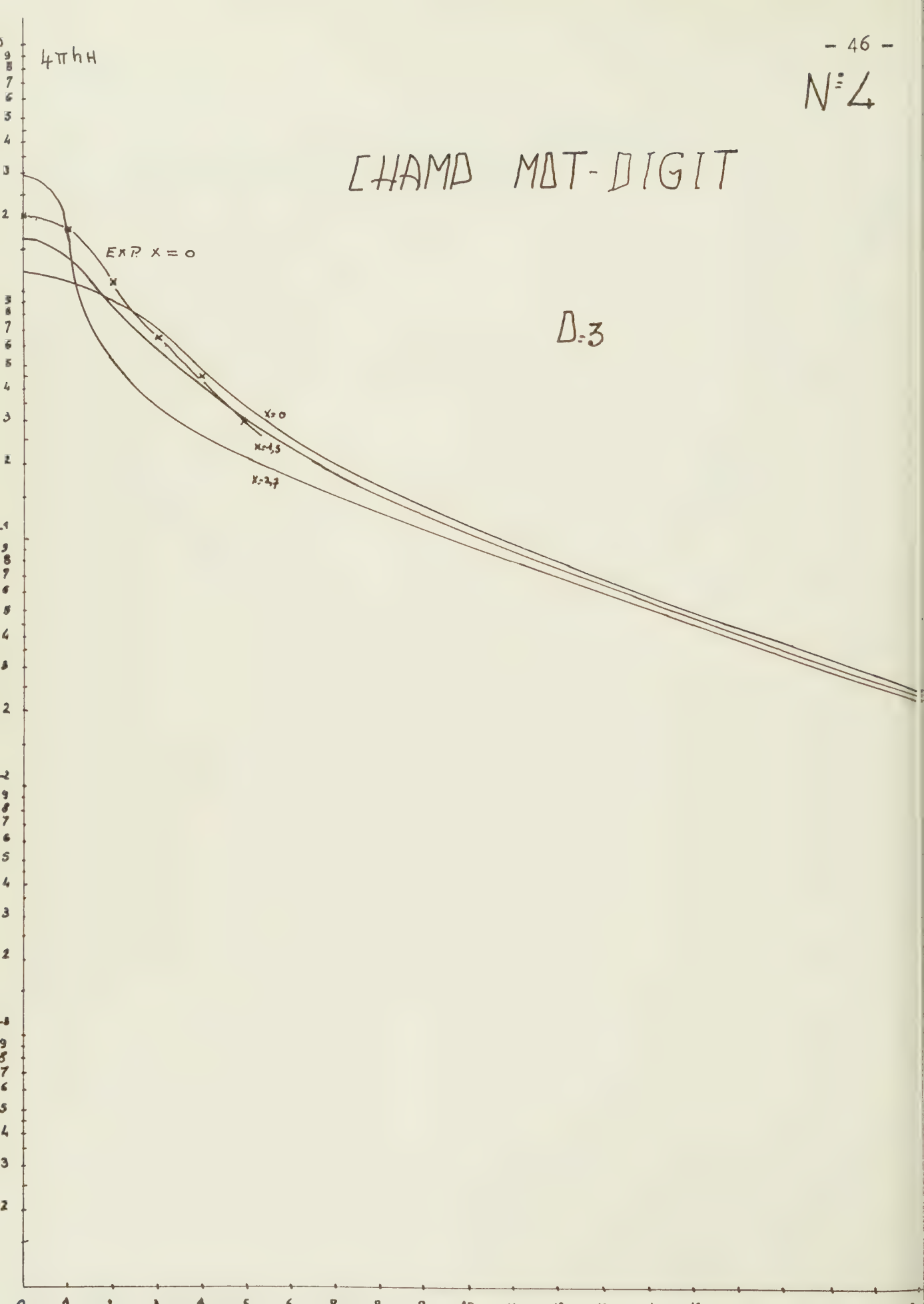
$N = 3$

CHAMP MDT-DIGIT



N^o 4

CHAMP MAT-DIGIT



CHAPITRE 4

ETUDE DES CONFIGURATIONS DEFAVORABLES

=====

Cette partie est consacrée à l'étude des configurations défavorables de digit et de mot. Dans la partie précédente nous avons étudié l'étalement des champs de commande. Nous nous occupons ici des autres champs parasites ainsi que de l'influence de l'effet d'étalement sur la zone d'écriture et le signal de lecture.

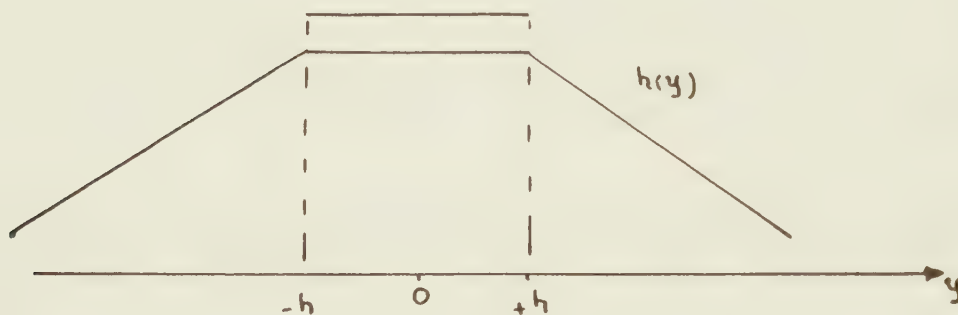
Dans une première partie nous analysons le processus d'inscription d'une information dans une cellule. Nous établissons une formule générale qui donne l'influence d'une variation du champ d'information sur le signal de lecture. La deuxième partie est consacrée à l'étude des champs statiques internes et aux formes et limites des zones d'inscription suivant les configurations.

Nous établissons des formules théoriques pour deux formes de cellules. Dans la dernière partie nous étudions les perturbations dans le sens mot et les limites de la densité de mot.

4.1. Ecriture de l'information "a" dans une cellule

A l'instant $t = 0$ nous appliquons un champ de mot $h(y)$ dans le sens difficile moyen. Du fait des fluctuations locales de la direction de l'aimantation, $\vec{M}$ fait un angle α avec le champ.

Pour fixer l'information il faut un champ de digit h_d tel que $h_d > h(y) \sin \alpha$. Le graphique suivant donne la courbe du champ $h(y)$



pour $y \in [-h, +h]$ on a $h(y) \geq H_K$

Compte tenu de toutes les dispersions il faudra un champ de digit h_d tel que $h_d > h_{d0}$

La détermination de h_{d0} dépend de α mais aussi du champ démagnétisant résultant et du champ magnétique terrestre quand ce dernier n'est pas parfaitement compensé.

$$h_{d0} = \sup \{ h(y) \sin \alpha + J_G(m) \} + h_{dc}$$

$\vec{H}(m)$ champ démagnétisant total en M

$H_i(m)$ composante de $\vec{H}(m)$ suivant l'axe facile

h_{dt} composante du champ magnétique terrestre suivant l'axe facile.

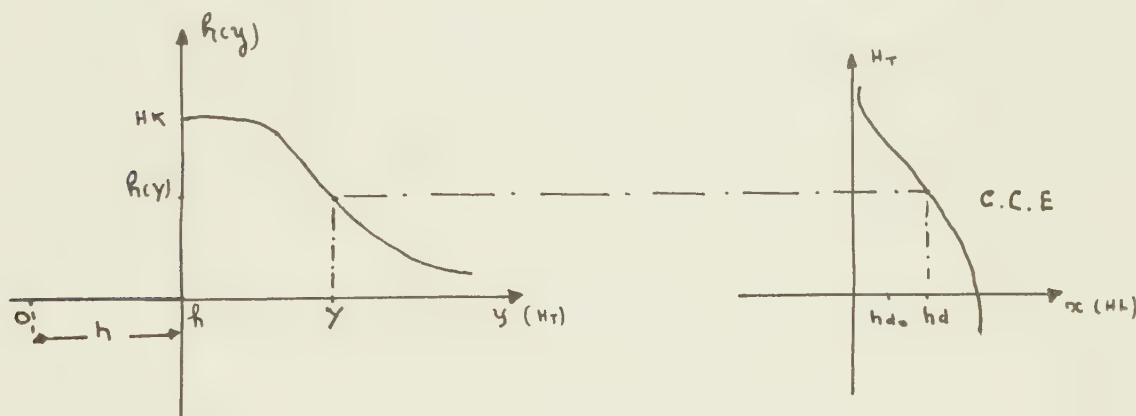
Il nous faut aussi considérer les zones où nous avons $h(y) < H_K$. Ces zones correspondent à ce que nous avons appelé zones d'étalement du champ de mot.

Nous fixerons l'information partout où l'extrémité du vecteur $\vec{h}(y) + \vec{h}_d$ sera extérieur à la courbe critique externe.

Dans le sens du conducteur digit c'est $h(y)$ qui va varier et dans le sens du conducteur mot c'est h_d

4.1.1. Variation de la zone d'écriture dans le sens du conducteur digit

Le champ digit H_d est constant et le champ mot est variable sur toute la zone d'étalement.



La limite de la zone d'inscription est déterminée par l'intersection de la droite $x = h_d$ et de la courbe critique externe ce point correspond à un champ $h(y)$

En conclusion nous allons écrire sur une zone de largeur $2h + 2y$

A partir de là essayons de voir l'allure de courbe $\Delta\phi = f(h_d)$ où $\Delta\phi$ est la variation de flux à la lecture.

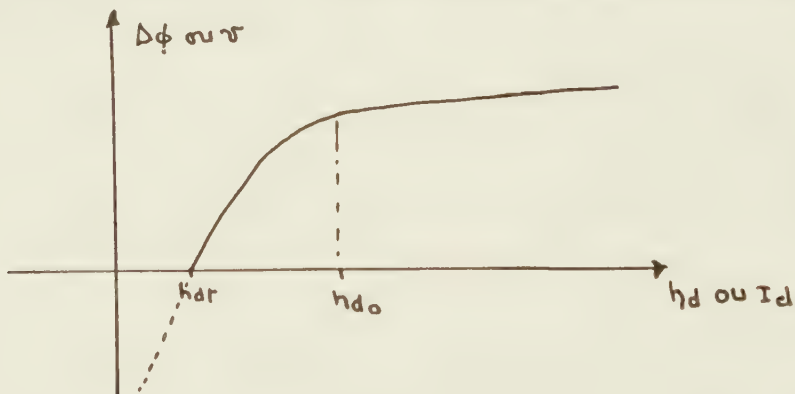
Cette courbe est identique à $\sigma = f(u)$ à un facteur multiplicateur près.

Quand h_d vaut zéro, à l'écriture on envoie un champ mot seul et quand ce champ disparaît nous avons un morcellement des domaines et à la lecture le signal est statistiquement nul.



Quand h_d croît jusqu'à h_{d0} le nombre de domaines où nous imposons l'information croît dès que l'on a $h_d > h_{d0}$. La croissance est rapide jusqu'à $h_d = h_{d0}$ où l'on a un seul domaine. En continuant à augmenter h_d , le signal continue à croître mais beaucoup plus lentement. Nous sommes dans la zone d'étalement. La zone supplémentaire d'inscription est faible du fait de la décroissance rapide du champ de mot ($\gamma_h \ll 1$) et le signal est proportionnel au facteur $f(h_d) = 1 - \left[1 - \frac{h_d^2}{h_{d0}^2}\right]^{1/2}$ facteur qui diminue rapidement avec h_d .

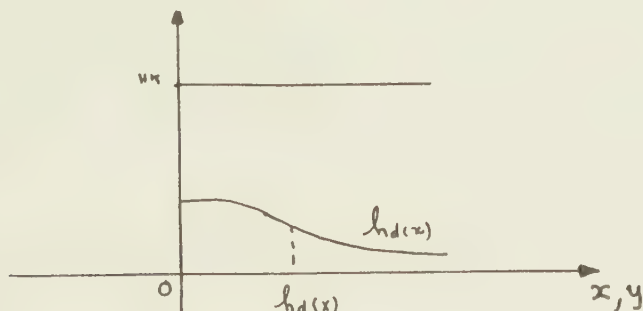
En conclusion la courbe $\Delta\phi = f(h_d)$ aura l'allure de la courbe de la figure suivante



Cette courbe est identique à celle que nous avons trouvée expérimentalement dans l'étude de la densité de 45 bits/cm².

4.1.2. Variation de la zone d'inscription suivant le conducteur mot

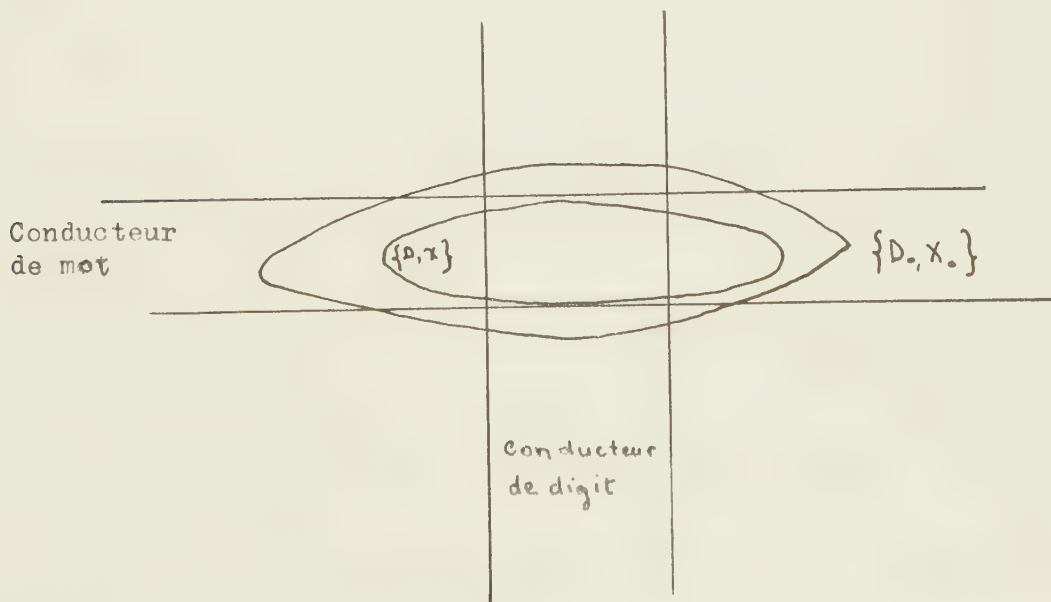
Le champ de mot est constant et le champ de digit varie suivant l'étalement.



Dans une bande de largeur $2h$ nous avons $h(y) \geq h_k$. Dans cette zone la condition d'écriture est donnée par $h_d(x) \geq h_{d0}$. Du fait de l'étalement du champ de digit nous écrirons dans une zone extérieure du conducteur de digit. Cette zone sera d'autant plus grande que l'étalement est prononcé ou non. La longueur est donnée par $2x$ tel que $h_d(x) = h_{d0}$.

Enfin dans la zone extérieure aux deux conducteurs il faut tenir compte de l'étalement des deux champs de commande.

Nous voyons que la forme de la cellule dépend en grande partie des variables de configuration D et X. (voir chap.3).



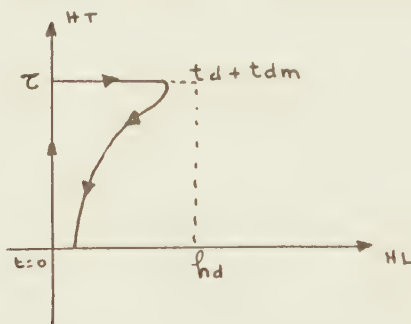
4.2. Champs démagnétisants et champs de fermeture.

Nous venons de voir les conditions et les zones d'écriture dans le cas d'une seule cellule. Quand on écrit dans plusieurs cellules (qui sont les cellules d'un même mot obligatoirement), les conditions gardent les mêmes formes mais ne sont plus les mêmes. Il intervient alors des champs démagnétisants variables avec le temps dont on peut prévoir le sens mais dont les valeurs sont très difficiles à déterminer même par la méthode de Ritz.

Diagramme des champs : Nous écrivons sur le mot m et nous considérons la cellule (m, i) et le champ digit h_d qui lui est appliqué.

Dans la zone principale le champ mot met l'aimantation dans le sens difficile. Dans la zone d'étalement nous avons $\text{div } \vec{n} \neq 0$ et il peut y avoir une composante de champ démagnétisant suivant l'axe facile. En prenant le cas le plus défavorable où l'aimantation, en dehors de la zone d'action des champs, occupe un sens opposé à celui que nous voulons imposer dans la cellule, nous avons un champ démagnétisant qui s'oppose à l'écriture. A mesure que le champ mot diminue ce champ devient plus important. Si nous écrivons l'information opposée en $(m, i + 1)$ il faut tenir compte des champs démagnétisants de ces cellules au niveau de la cellule (m, i) . Ces champs peuvent s'opposer à h_d . Il nous faut tenir compte aussi de l'étalement des champs d'information des lignes $i - 1$ et $i + 1$ que nous connaissons parfaitement en grandeur et en signe.

Nous pouvons avoir un diagramme comme l'indique la figure suivante



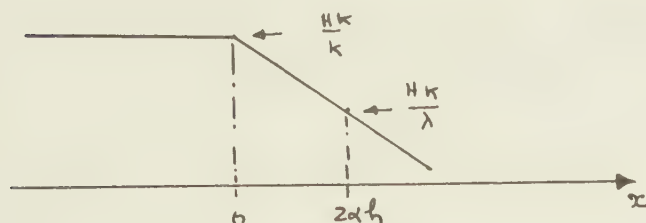
4.3. Influence des perturbations de digit sur le signal de lecture.

Nous nous plaçons dans un cas plus général on l'on peut faire de la lecture non destructive et où l'on peut changer les conditions d'écriture. Les perturbations de digit se manifestent par une variation du champ d'information Δh_d

Soit $h_m(x)$ le champ de mot

$$h_m(x) = \frac{H_L}{h} \text{ pour } x \in [-h, +h]$$

Sous l'influence de Δh on écrit sur une zone supplémentaire - dans le cas favorable - de largeur λ et au point $2\alpha h$, l'origine étant maintenant en h , le champ de mot vaut $H\kappa/\lambda$. Remarquons que le raisonnement et les calculs sont pareils dans le cas défavorable.



Avec l'approximation d'un étalement linéaire

pour $x \in [0, 2\alpha h]$

$$h_m(x) = \frac{H\kappa}{2\alpha h} \left[\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\kappa} \right] x + \frac{H\kappa}{\lambda}$$

Variation de flux dû à la zone $[0, 2\alpha h]$

$$\Delta \phi_p = 2em \int_0^{2\alpha h} \left\{ 1 - 1 - \frac{h_m^2}{H\kappa^2} \right\} dx$$

Posons $y = \frac{h_m(x)}{H\kappa} \left[\frac{h_m(x)}{H\kappa} \right]^2 = \left[\frac{1}{2\alpha h} \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\kappa} \right) x + \frac{1}{\kappa} \right]^2 \leq 1$

Nous avons alors

$$\Delta \phi_p = 2em \left\{ 2\alpha h - \frac{2\alpha h}{\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\kappa}} \int_{\frac{1}{\kappa}}^{\frac{1}{\lambda}} (1-y^2)^{1/2} dy \right\}$$

Calcul de $J = \int_{\frac{1}{\kappa}}^{\frac{1}{\lambda}} (1-y^2)^{1/2} dy$

$$J = \frac{1}{2} \left\{ \text{Arcsin } \frac{1}{\lambda} - \text{Arcsin } \frac{1}{\kappa} + \frac{1}{2} \left(\sin 2 \text{Arcsin } \frac{1}{\lambda} - \sin 2 \text{Arcsin } \frac{1}{\kappa} \right) \right\}$$

d'où

$$\Delta\phi_p = 2em\lambda zeh \left[1 - \frac{1}{2(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\kappa})} \right]$$

Quand il n'y a pas de perturbation on écrit sur une zone 2h avec un champ de mot $\frac{u\kappa}{\kappa}$. A la lecture il y a une variation de flux.

$$\Delta\phi_0 = 2emh \left[1 - \left(1 - \frac{1}{\kappa^2}\right)^{1/2} \right]$$

Posons

$$\gamma = \frac{\Delta\phi_p}{\Delta\phi_0}$$

$$\frac{1}{\lambda} = \eta$$

$$\frac{1}{\kappa} = \xi$$

Il vient

$$\gamma = f(\xi, \eta) = 2\alpha \frac{1 + \frac{1}{2(1-\eta)}}{1 - (1 - \xi^2)^{1/2}} \left\{ \text{Arcsin}\eta - \text{Arcsin}\xi + \frac{1}{2} [\sin \text{Arcsin}\eta - \sin \text{Arcsin}\xi] \right\}$$

Conditions limites d'écriture. Si la courbe critique interne diffère peu de la courbe critique externe, pour un champ h_d et un champ h_m la condition limite d'écriture s'écrit

$$\left(\frac{h_m}{H\kappa} \right)^{2/3} + \left(\frac{h_d}{H\kappa} \right)^{2/3} = 1$$

d'où

$$\begin{cases} \xi^{2/3} + \left(\frac{h_0}{H\kappa} \right)^{2/3} = 1 \\ \eta^{2/3} + \left[\frac{h_0 \pm \Delta h_d}{H\kappa} \right]^{2/3} = 1 \end{cases}$$

De ces deux relations nous tirons

$$\eta^{2/3} - \xi^{2/3} = \mp \frac{2}{3} \frac{\Delta h_d}{H\kappa} \left[\frac{h_0}{H\kappa} \right]^{2/3} \quad \text{si } \Delta h_d \ll h_0$$

Connaissant ξ nous en déduisons η et γ

γ caractérise les variations du signal. C'est l'équivalent du rapport bruit sur signal. Ce rapport doit être le plus faible possible.

Etude de γ . Par une transformation simple nous avons :

$$\gamma = f(\xi, \eta) = 2\alpha \frac{1 - \frac{1}{2(1-\xi)}}{1 - [1 - \xi^2]^{1/2}} \left[\text{Arcsin}(\eta\sqrt{1-\xi^2} - \xi\sqrt{1-\eta^2}) + \eta\sqrt{1-\eta^2} - \xi\sqrt{1-\xi^2} \right]$$

- Variation de α . α caractérise l'étalement. Ce paramètre est lié aux variables de configuration D et X que nous avons déjà étudiées.
- Variation de Δh_d . Pour α donné γ augmente avec Δh_d

Influence du point de fonctionnement. C'est l'étude la plus intéressante. Pour un Δh_d donné si on fait varier ξ on constate que $\Delta \phi_p$ diminue

avec ξ . Il faut remarquer que $\Delta \phi_c$ diminue aussi et de ce côté on est limité par un seuil minimum qui est fixé par le système de détection.

γ tend vers zéro avec ξ . Cela peut permettre d'augmenter la densité et de diminuer le courant de commande. Il faudra par contre une plus forte amplification du signal. Nous serons limités de toute manière par les divers bruits qui interviennent dans le fonctionnement de la mémoire. Il faut remarquer que l'on n'a plus de bruit de réinscription en NDRO

Nous avons fait une détermination graphique de γ en utilisant les propriétés élémentaires de la courbe critique et en assimilant la courbe à sa tangente pour des petites variations.

Nous avons vu que Δh_d dépendent de l'étalement et des champs internes. En modifiant les conditions d'écriture (en faisant varier ξ) on modifie la forme de la cellule et aussi les champs internes. Nous essayons d'évaluer les champs suivant la forme de la cellule dans la troisième partie de cette étude.

L'important qu'il faut retenir de ces calculs, c'est que le champ d'étalement joue un rôle important car γ est proportionnel à α . La première chose à faire c'est diminuer α tout en augmentant la densité et pour cela il faut diminuer D (voir étude de l'étalement). Notons encore que la variable qui représente le mieux l'influence des perturbations

$$\text{c'est } \Gamma = \frac{\Delta \phi_c - \Delta \phi_p}{\Delta \phi_c + \Delta \phi_p}.$$

4.4. Evaluation des champs internes statiques

Ces champs existent dès que l'on a plusieurs domaines car alors - en dehors du ripple - on a : $\text{div } \vec{M} \neq 0$

4.4.1. Rappel des formules fondamentales

Soit M l'aimantation posons $\rho = -\text{div } \vec{M}$

Equations du champ

$$\begin{cases} \text{div } \vec{H} = \frac{\rho}{\mu} \\ \text{rot } \vec{H} = 0 \end{cases} \quad \begin{cases} \vec{n} \cdot (\vec{H}_+ - \vec{H}_-) = \frac{\sigma}{\mu} \\ \vec{n} \wedge (\vec{H}_+ - \vec{H}_-) = 0 \end{cases}$$

On définit un potentiel scalaire

$$v^* = \frac{1}{4\pi\mu} \left\{ \int_V \frac{\rho}{r} dv + \int_F \frac{\sigma}{r} ds \right\}$$

Dans ces conditions

$$\begin{aligned} \Delta v^* &= -\frac{\rho}{\mu} \\ \vec{H} &= -\text{grad } v^* \end{aligned}$$

En prenant les dérivés au sens des distributions nous pouvons écrire plus simplement

$$\begin{aligned} v^* &= \frac{1}{4\pi\mu} \int_V \frac{\rho}{r} dv \\ \vec{H} &= \frac{1}{4\pi\mu} \int_V \frac{\rho}{r^3} \vec{R} dv \end{aligned}$$

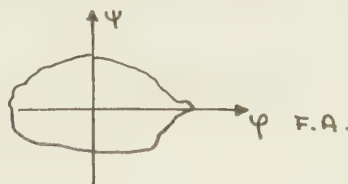
4.4.2. Calcul des champs

Nous considérons une cellule où l'aimantation occupe une position "a" à l'intérieur et "a" à l'extérieur.

Soit F la frontière de la cellule. Nous définissons F par son équation paramétrique

$$\varphi = \varphi(t)$$

$$\psi = \psi(t)$$



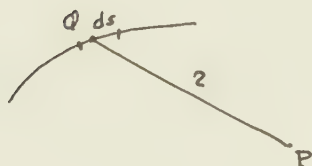
Par rapport à ces axes l'aimantation à deux composantes M_φ et M_ψ

$$\vec{M} = \{ M_\varphi, M_\psi \}$$

En statique $M_\psi = 0$ (aimantation au repos)

Nous avons alors

$$\rho = -\text{div} \vec{M} = 2M \frac{\psi' \delta(F)}{\sqrt{\psi'^2 + \varphi'^2}} \quad \text{avec la normale dirigée vers l'extérieur}$$



Nous avons une distribution de charges localisées sur F

Le champ élémentaire créé en P par une longueur ds vaut

$$d\vec{H} = 2kM \frac{\psi' ds}{2^2 \sqrt{\psi'^2 + \varphi'^2}} \frac{\vec{QP}}{QP}$$

$$\text{Or } ds = (\psi'^2 + \varphi'^2)^{1/2} dt$$

$$d\vec{H} = 2kM \frac{\psi'}{2^2} \vec{R} dt$$

Avec $\vec{QP} = \vec{R}$

Coordonnées de Q : φ, ψ
 " " P : x, y

$$\vec{R} = \vec{i}(x-\varphi) + \vec{j}(y-\psi)$$

$\vec{i}$ et $\vec{j}$ vecteurs unitaires des φ et ψ

$$d\vec{H} = 2kM \frac{\psi' [\vec{i}(x-\varphi) + \vec{j}(y-\psi)] dt}{[(x-\varphi)^2 + (y-\psi)^2]^{3/2}}$$

et
$$\vec{H} = 2km \int_F \frac{\psi' [\vec{r}(x-\varphi) + \vec{r}(y-\psi)] dt}{[(x-\varphi)^2 + (y-\psi)^2]^{3/2}}$$

Le potentiel scalaire v^* vaut

$$v^* = 2km \int_F \frac{\psi' dt}{[(x-\varphi)^2 + (y-\psi)^2]^{1/2}}$$

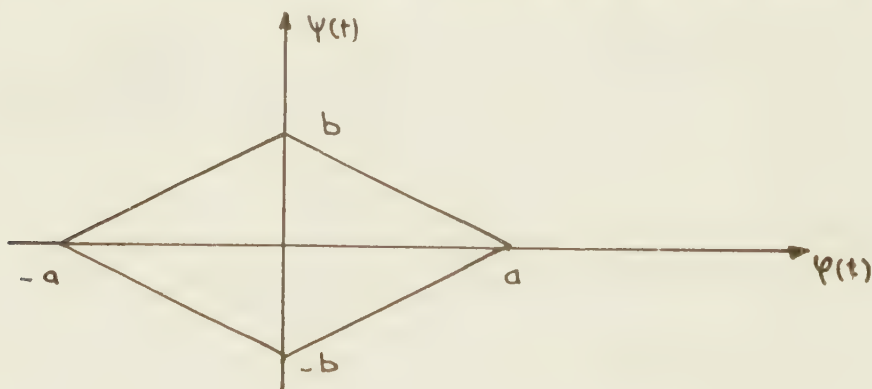
Nous voyons d'après ces formules que la forme de F joue un grand rôle dans la détermination du champ.

Il faut remarquer que la cellule monodomaine sera limitée par une paroi d'épaisseur non nulle. L'hypothèse d'une brusque variation de la direction de l'aimantation est physiquement inconcevable. Les formules pourront être considérées comme valables en des points situés assez loin de la paroi.

Dans ce qui suit nous allons calculer $\vec{H}$ pour des points particuliers et pour différentes formes de la courbe F .

L'hypothèse d'une cellule rectangulaire, avec une paroi perpendiculaire à l'axe de facile aimantation, nous donne des valeurs de champs démagnétisants incompatibles avec les valeurs de H_k et de H_c

4.4.3. Nous nous rapprochons beaucoup de la forme réelle en prenant une cellule limitée par un losange comme le montre la figure suivante



Nous appliquons la formule précédente pour déterminer le champ dans le sens facile sur l'axe $\varphi(t)$

$$H_L = 2km \int_F \frac{(x-\varphi) \psi' dt}{[(x-\varphi)^2 + \psi^2]^{3/2}}$$

posons $\varphi = x = t$, la relation entre φ et x est simple. Nous avons $\varphi = \alpha x + \beta$, α et β variant suivant le quadrant où l'on se trouve.

Le calcul de telles intégrales est classique. Nous donnons les formules donnant $H_i(x, 0)$ et $H_i(0, y)$

$$H_i(x, 0) = \frac{8kMebo}{(a^2 - x^2)(x^2 + b^2)^{1/2}}$$

$$H_i(0, y) = \frac{8kMe b^2 [(y^2 + a^2)^{1/2} - y]}{(b^2 - y^2)(y^2 + a^2)^{1/2}}$$

e : épaisseur de couche magnétique

Avec $k = (4\pi\mu)^{-1}$ MKSA

$$H_L(x, 0) = \frac{2Mbea}{\pi\mu(a^2 - x^2)(x^2 + b^2)^{1/2}}$$

$$H_L(0, y) = \frac{2Me b^2 [(y^2 + a^2)^{1/2} - y]}{\pi\mu(b^2 - y^2)(y^2 + a^2)^{1/2}}$$

et nous avons $H_L(0, 0) = \frac{2Me}{\pi\mu a}$. C'est le champ démagnétisant au centre

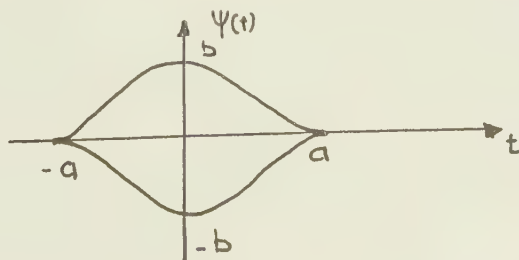
Nous avons dans cette hypothèse 4 points délicats où $\text{div} \vec{M}$ est mal définie du fait des points anguleux de la cellule.

4.4.4. Dans une autre configuration, toujours dans le but de se rapprocher de la configuration réelle, nous prenons pour F la courbe suivante

$$\psi(t) = \pm b \cos^2 \frac{\pi}{2a} t$$

$$\varphi(t) = t$$

La cellule est définie par deux arcs de sinusöide



$$H_i = 2 k m \int \frac{(x - \varphi) \varphi' dt}{[(x - \varphi)^2 + \varphi^2]^{3/2}}$$

Posons $\varphi(t) = x$

$$\varphi(t) = \pm b \cos^2 \frac{\pi}{2a} x$$

Nous avons

$$-\varphi'(x) = \pm 2 b \cos \frac{\pi}{2a} x \sin \frac{\pi}{2a} x$$

$$H_i(x, 0) = -8 k m \frac{b \pi}{2a} \int_{-a}^{+a} \frac{(x-x) \cos \frac{\pi}{2a} \sin \frac{\pi}{2a} dx}{[(x-x)^2 + b^2 \cos^4 \frac{\pi}{2a} x]^{3/2}}$$

Posons

$$R = \frac{x}{a} ; B = \frac{b}{a} ; z = \frac{x}{a}$$

$$H_i(x, 0) = -8 k m \frac{\pi}{2} \frac{B}{a} \int_{-1}^{+1} \frac{(R-z) \cos \frac{\pi}{2} z \sin \frac{\pi}{2} z}{[(R-z)^2 + B^2 \cos^4 \frac{\pi}{2} z]^{3/2}} dz$$

La cellule est assez allongée et $B \ll 1$. Nous allons calculer H_i pour des points particuliers : $x = 0$; $x = na$

Pour $x \gg 2a$

$$H_i(x, 0) \simeq -8 k m e \frac{B}{a} \frac{1}{R^3} \cdot \frac{\pi}{2}$$

et

$$H(0) \simeq 8 k m e \frac{\pi}{2} \frac{B}{a} \frac{1 \times 2}{1 + B^2}$$

Avec

$$k = (4 \pi \mu)^{-1}$$

$$H_i(x, 0) = - \frac{m e}{\mu} \frac{B}{a} \frac{1}{R^3} \quad x \gg 2a$$

$$H(0) = \frac{2 m e}{\mu} \frac{B}{a (1 + B^2)}$$

Dans les deux cas que nous venons d'étudier nous voyons que le champ varie rapidement avec la longueur a . Il est indispensable, pour avoir les champs démagnétisants statiques, de connaître la forme et surtout les dimensions des zones où est stockée l'information, ce que nous allons étudier dans le paragraphe suivant.

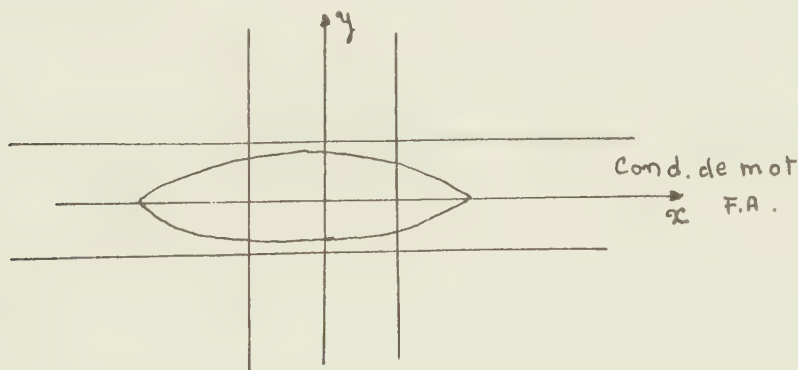
4.5. Forme et dimensions des cellules de mémoires.

Nous indiquons et appliquons ici une méthode de mesure purement électrique qui nous permet d'accéder à ces données.

Nous savons que, dans une région de la lame magnétique où nous n'avons aucun champ dans le sens facile, si nous appliquons un champ de mot $h_m \gg H_K$, après disparition de ce champ nous avons un morcellement des domaines. Si alors nous appliquons à cet endroit un champ de mot, le signal recueilli est nul.

Quand nous avons une zone où nous imposons à l'aimantation un sens sur une longueur l dans le sens difficile et si le champ de lecture h_m est tel que $h_m \gg H_K$, le flux recueilli est proportionnel à l , ainsi que le signal de lecture si l'étalement du champ de mot est faible. Inversement connaissant le signal de lecture et le temps de montée du courant de mot nous pouvons en déduire l .

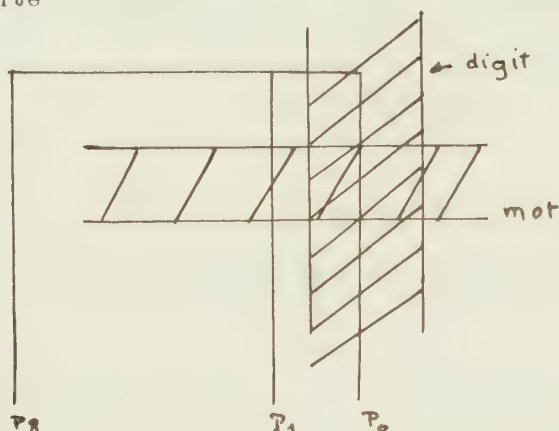
Nous faisons l'hypothèse que la zone d'inscription admet les axes des conducteurs de commande pour axes de symétries.



Le système que nous utilisons consiste à placer des conducteurs de prélèvement en divers points de l'axe x et en désignant par y la moitié du signal recueilli nous traçons la courbe $y = f(x)$ qui nous donne la forme et les dimensions de la zone d'inscription.

Pour le prélèvement nous utilisons un réseau de conducteurs très fins (100μ) au pas de 0,5 mm.

La disposition des conducteurs de prélèvement est indiquée sur la figure suivante



Le premier conducteur de prélèvement P_0 est placé au milieu du conducteur de digit i et correspond au conducteur usuel de prélèvement que nous utilisons pour les tests en mémoire.

Nous utilisons pour les mesures un ampli large bande avec un temps de montée de 3 ns et un bruit très faible. Pour ne pas être gênés par le parasite inductif nous opérons avec une fréquence de récurrence faible ($< 20 \text{ kHz}$). Cela nous permet de vérifier la stabilité des domaines dans les cas défavorables et au besoin de faire des opérations de perturbations entre deux séquences. Quand les signaux de lecture sont faibles nous éliminons le signal capacitif par différence en prenant pour $\frac{1}{4}(a + \bar{a})$

Caractéristiques des courants de commande

- Courant de mot : temps de montée 20 ns, durée 400 ns, amplitude variable suivant la largeur du conducteur de mot.
- Courant de digit : durée 500 ns, retard sur le front de mot : 240 ns



Nous pouvons faire varier les durées des courants de commande dans une large gamme sans que cela influe sur le signal de lecture.

Nous étudions trois configurations :

- 1) Cellule isolée.
- 2) Cellule dans une configuration défavorable.
- 3) Cellule dans une configuration favorable.

4.5.1. Cellule isolée . Nous avons un conducteur de mot et un conducteur d'information.

Avant de faire des relevés nous positionons la lame de manière à ne pas avoir de signal aux prélèvements quand nous envoyons un courant de mot seul. Du fait des dispersions nous n'arrivons pas toujours à annuler rigoureusement le signal partout. Pour certains points nous arrivons à observer un très léger dédoublement. Dans la zone de mesure ce signal reste très faible devant le signal de lecture normal avec utilisation des deux champs de commande. Nous faisons une autre vérification en inscrivant alternativement des "zéro" et des "un" pour voir si l'inscription se fait d'une manière symétrique.

Enfin entre deux mesures nous supprimons le digit en gardant le mot seul pour vérifier la référence définie plus haut.

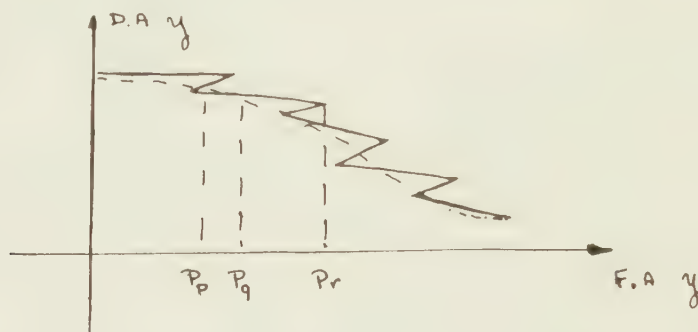
Nous utilisons des réseaux $\{1; 2,5\}$ et $\{0,5; 1,5\}$ pour les commandes pour une même lame et un même conducteur de mot les caractéristiques du courant de mot restent les mêmes tout au long des mesures. Nous faisons varier le courant de digit afin de voir son influence sur les dimensions de la zone d'inscription.

Les relevées sont faites pour trois lames : les lames P16 et P64 utilisées dans les deux maquettes testées (densité 32 et densité 64) et de caractéristiques assez voisines; la troisième lame (KC) est beaucoup plus épaisse que les deux précédentes, son épaisseur est de 2000 Å

Résultats Pour la cellule isolée nous constatons que la zone d'inscription s'étend bien au-delà de la zone d'influence notable du champ de digit. Si nous nous reportons aux courbes d'étalement nous voyons que pour un conducteur de digit de 1 mm et une épaisseur de verre de 100 Å nous avons $D=0,2$ et $x \approx 0,2$. Nous devons donc prendre la courbe d'étalement n° 2 et les points portés sur l'axe y correspondent aux points de mesure $P_0 \dots P_8$

Nous avons une cellule qui se termine en pointe sur l'axe facile.

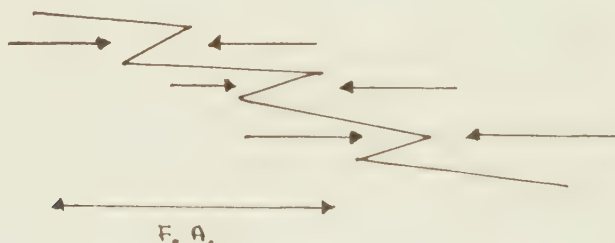
Pour la lame P16 les points de mesures ont une meilleure régularité que pour P64. Ses mesures donnent une valeur moyenne en chaque point. En effet nous pouvons avoir un domaine avec une paroi continue ou une succession de parois en dents de scie comme l'indique la figure suivante



Dans les deux cas la courbe relevée aura à peu près la même allure. Si nous faisons trois relevés en P_p , P_q et P_r , nous voyons que la mesure en P_r donnera une valeur qui sera plus faible que ce que l'on espérera trouver d'après les relevés en P_p et en P_q . Nous constatons bien de tels sauts pour la lame P64.

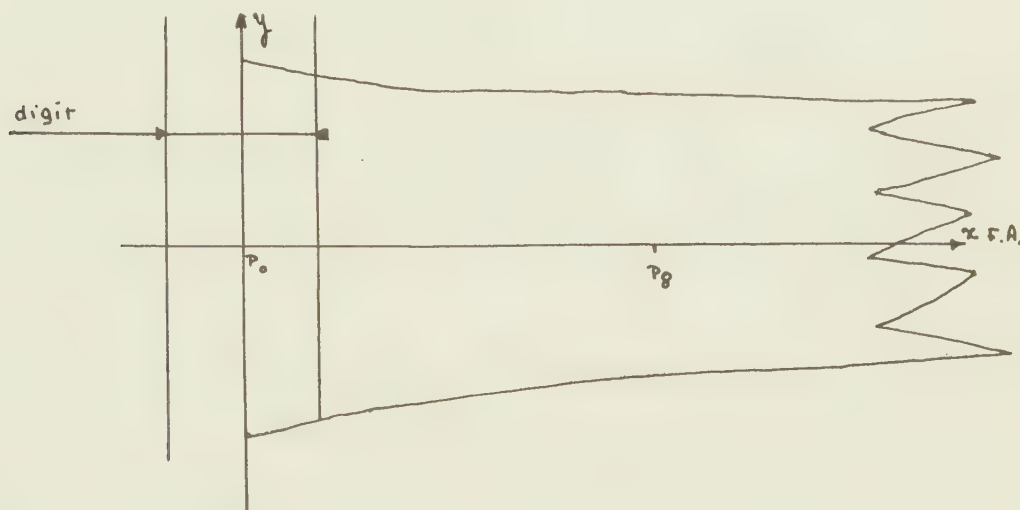
Nous trouvons la même allure de domaine que celle que l'on trouve par les méthodes optico-électriques.

Sans faire de calculs approfondis nous voyons que cette forme correspond à une énergie relativement faible. La cellule dentelée semble avoir une énergie encore plus faible. On peut bien avoir une paroi dentelée avec des segments presque parallèles à l'axe facile



Pour la lame KC ($2000 \text{ \AA}$) il faut des courants de commande plus élevés pour avoir une écriture symétrique. La zone d'inscription s'étend au delà de la zone de mesure. La décroissance de est plus lente.

A partir d'une certaine distance nous obtenons un palier horizontal. Le domaine doit se fermer par des pointes comme l'indique la figure



4.5.2. Cellule dans une configuration défavorable

Nous utilisons trois conducteurs de digit. Les mesures sont effectuées à partir du centre du conducteur central où se trouve P_0

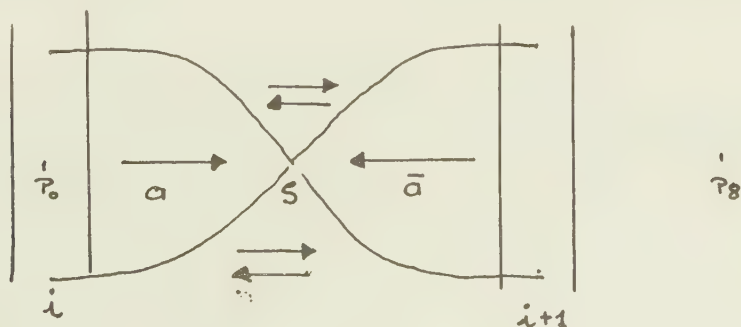
Nous écrivons "a" dans la cellule centrale (i) et " $\bar{a}$ " en $i \pm 1$

Nous avons donc la configuration suivante $\{\bar{a}, a, \bar{a}\} \leftarrow m$

Le champ de digit des cellules $i - 1$ et $i + 1$ peut être soit continu soit en impulsion.

Sur les graphiques nous indiquons l'emplacement des conducteurs de digit.

En P_0 et pour les prélèvements voisins de P_0 nous lisons l'information a que nous avons écrit en i. A mesure que nous nous éloignons de P_0 le signal diminue jusqu'à changer de sens. Nous sommes alors dans la zone d'inscription de $i + 1$. Le point où le signal s'annule donne la séparation des deux domaines où nous avons écrit a et $\bar{a}$.



La position du point S par rapport aux conducteurs i et $i + 1$ dépend des valeurs relatives des courants de commande de i et de $i + 1$.

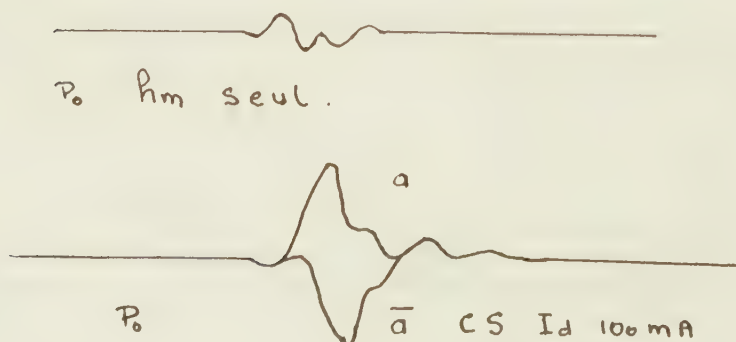
Cas où les digits $i + 1$ sont alimentés en continu et le conducteur i en impulsion.

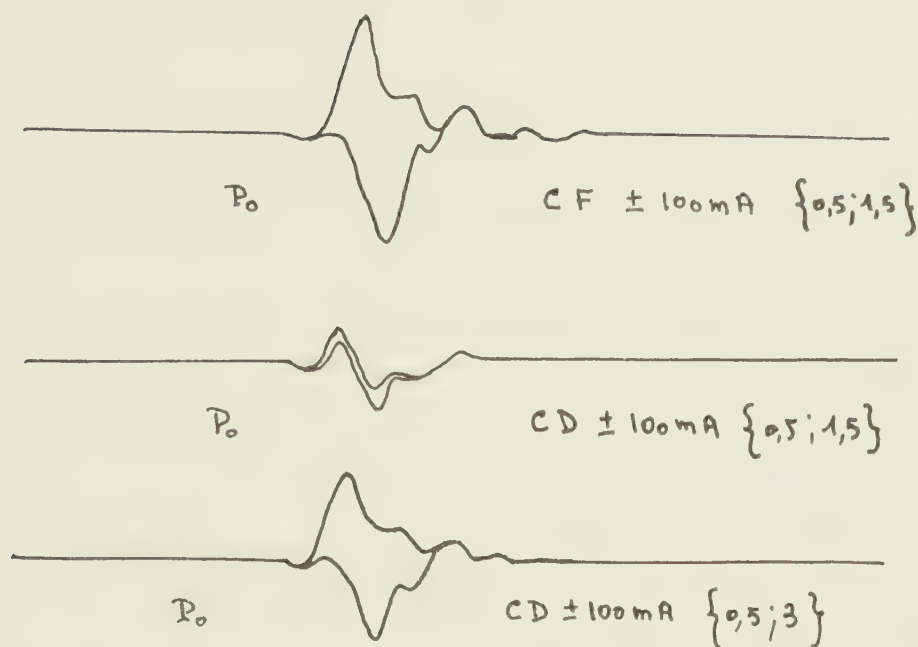
A courant égal le point S est plus près de $i + 1$. Nous savons que dans ce cas les conditions de lecture et d'écriture ne sont pas tout à fait pareilles qu'en impulsion. Notons que pour avoir S à égal distance de i et de $i + 1$, il faut deux fois plus de courant en $i + 1$ qu'en i avec le réseau de digit $\{1; 2,5\}$. Les graphiques indiquent les positions S suivant le courant de digit en i .

- Cas où les trois digits sont alimentés en impulsion

- A) Réseau digit $\{1; 2,5\}$. Pour ce réseau que nous utilisons pour les tests en mémoire et pour des courants de digits de 100 mA à 200 mA le point S est à égale distance de i et de $i + 1$. Nous avons un bon signal de lecture.
- B) Réseau digit $\{0,5; 1,5\}$. Le point S est beaucoup plus près de i et le signal au niveau de ce dernier est faible. Avec un courant de digit de 100 mA et un réseau mot $\{0,5; 1,5\}$, l'écriture est mauvaise. Nous ne pouvons écrire les deux informations alternativement sur une zone suffisamment grande pour un signal convenable à la lecture.

Si nous gardons le même réseau de mot $\{0,5; 1,5\}$ et si nous augmentons le pas du réseau digit en utilisant un conducteur sur deux, l'écriture devient acceptable. Nous pouvons conclure que ce n'est pas la largeur de 0,5 mm qui limite la densité mais bien le pas de 1,5 qui est trop faible.



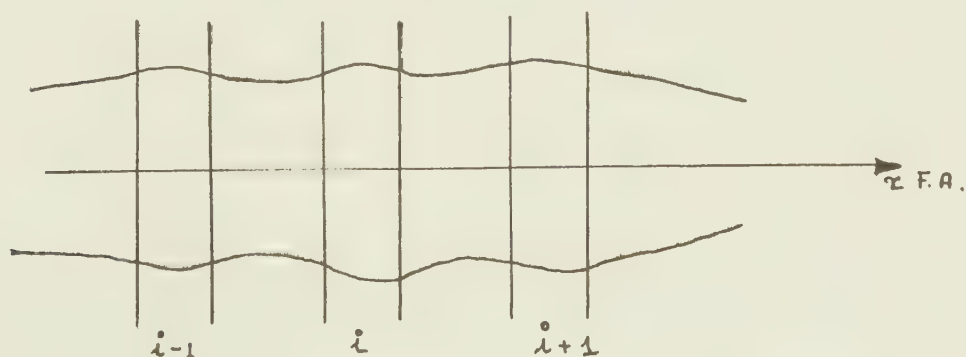


4.5.3. Cellule dans une configuration favorable.

Dans les trois cellules du mot m nous inscrivons la même information. Nous avons la configuration suivante

$$\{a, a, a\} \leftarrow m$$

Pour les divers réseaux utilisés nous constatons que nous n'avons pas trois domaines mais un seul qui s'étend sur les trois cellules. Au centre des conducteurs i et $i \pm 1$ le domaine est légèrement plus large qu'entre les conducteurs. A l'extérieur des conducteurs $i \pm 1$ le domaine s'étend comme dans le cas d'une cellule isolée.



4.5.4. Tenue de l'information

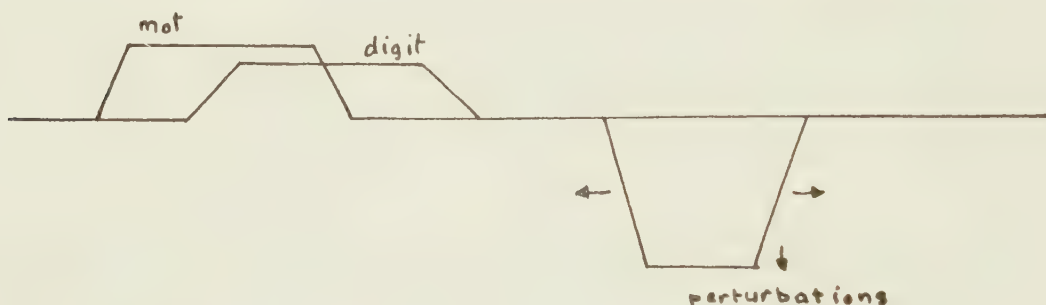
Dans l'étude de la configuration défavorable nous avons vu que la zone d'inscription de la cellule centrale est très réduite. On peut se demander si une telle cellule est stable et quel est son degré de stabilité.

Nous avons étudié la stabilité dans le cas du réseau de digit $\{1, 2, 5\}$ et un mot de 0,5 mm.

Nous opérons à une fréquence de 100 hertz. Le temps qui sépare l'écriture et la lecture est à peu près 10 millisecondes. Nous nous limitons à l'étude des perturbations dans le sens F.A.

Entre l'écriture et la lecture nous envoyons à la cellule centrale un champ de digit de sens opposé à celui de l'écriture. Nous pouvons faire varier la position de l'impulsion de perturbation.

La figure suivante indique la position des courants de commande en amplitude et dans le temps.



Nous constatons que la position n'a pas une grande importance tant qu'elle n'empiète pas sur le digit d'écriture.

Nous choisissons comme référence la cellule isolée.

1) Cellule isolée

Courant de digit 100 mA

signal 1,3 mV

Le courant I_p de perturbation est variable.

Le signal de lecture commence à diminuer pour $I_p = 160$ mA pour 320 mA le signal est diminué de moitié.

2) Cellule dans une configuration défavorable

Configuration $\{\bar{a}, a, \bar{a}\}$

Courants de digit $\pm 100 \text{ mA}$

Signal $0,9 \text{ mV}$

Nous avons $0,65$ pour $I_p = 300 \text{ mA}$

" " $0,45$ pour $I_p = 310 \text{ mA}$

3) Cas favorable

Configuration $\{a, a, a\}$

Courants de digit 100 mA

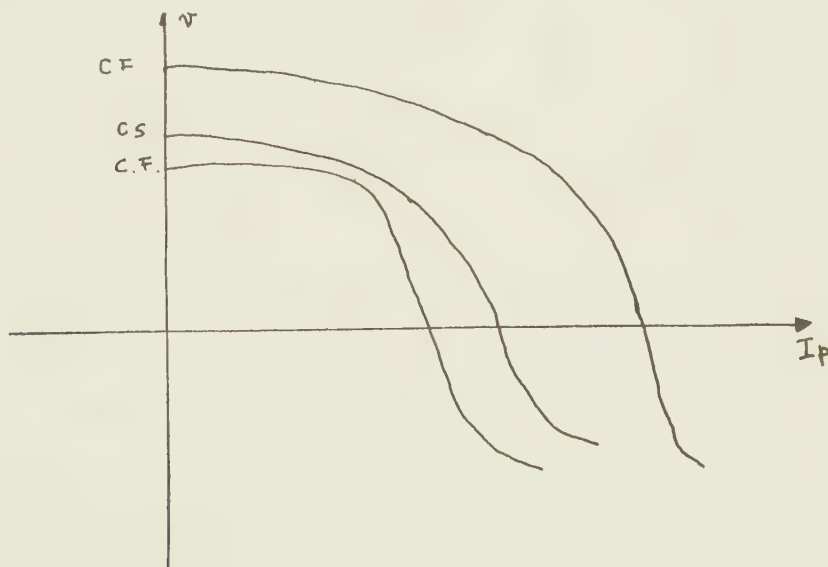
Signal $1,6 \text{ mV}$

Nous avons $0,65$ pour $I_p = 640 \text{ mA}$

Nous avons $0,80$ pour $I_p = 600 \text{ mA}$

Dans les trois cas nous vérifions que l'écriture est correcte par les critères définis plus haut.

Nous avons les courbes suivantes :



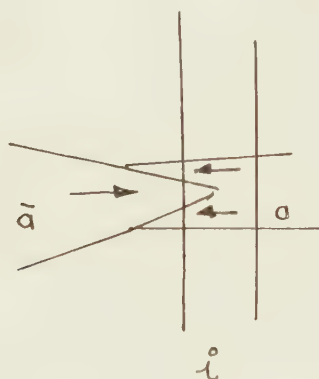
Quand nous continuons à augmenter I_p le signal décroît jusqu'à changer de sens. Le passage d'un état à l'autre n'est pas brusque et nous avons des phénomènes de reptation de parois. Nous voyons que le H_c^* (champ coercitif dynamique) varie beaucoup d'une configuration à l'autre.

En conclusion nous avons une bonne stabilité car même dans le cas défavorable il faut des perturbations d'amplitude trois fois plus grandes que de courant nominal de digit pour détruire l'information.

Nous savons que le phénomène de reptation de paroi est cumulatif. Il faut donc faire intervenir le nombre de perturbations appliquées. Cette étude a été faite pour la même densité digit et les courants nominaux dans l'étude des densités 32 et 64.

Nous n'avons pas fait d'essais de perturbations très poussés pour un digit $\{0,5; 1,5\}$ car le signal dans la CD est trop faible.

Les mesures ne sont pas toujours reproductibles suivant les conditions d'essais. Nous observons de brusques variations du signal. Cela peut s'expliquer par le fait que nous n'avons pas un domaine unique pour la cellule centrale mais plusieurs comme l'indique la figure



Note. Symboles utilisés pour les courbes et graphiques

- CS : cellule seule (isolée)
- CD : configuration défavorable
- CF : configuration favorable

Echelle horizontale 2 cm $\Rightarrow$ 0,5 mm

Echelle verticale : grandeurs proportionnelles au signal

Deux traits verticaux matérialisent les bords des conducteurs de digits i (origine des coordonnées) et $i - 1$ ou $i + 1$

Pour avoir le domaine entier (ou les domaines entiers) il faut faire deux symétries, une par rapport à chaque axe.

② C S 100 mA en l

③ C D 200 mA en l et 200 mA C C en l + 1



Lame P16

① CS 200 mA en i

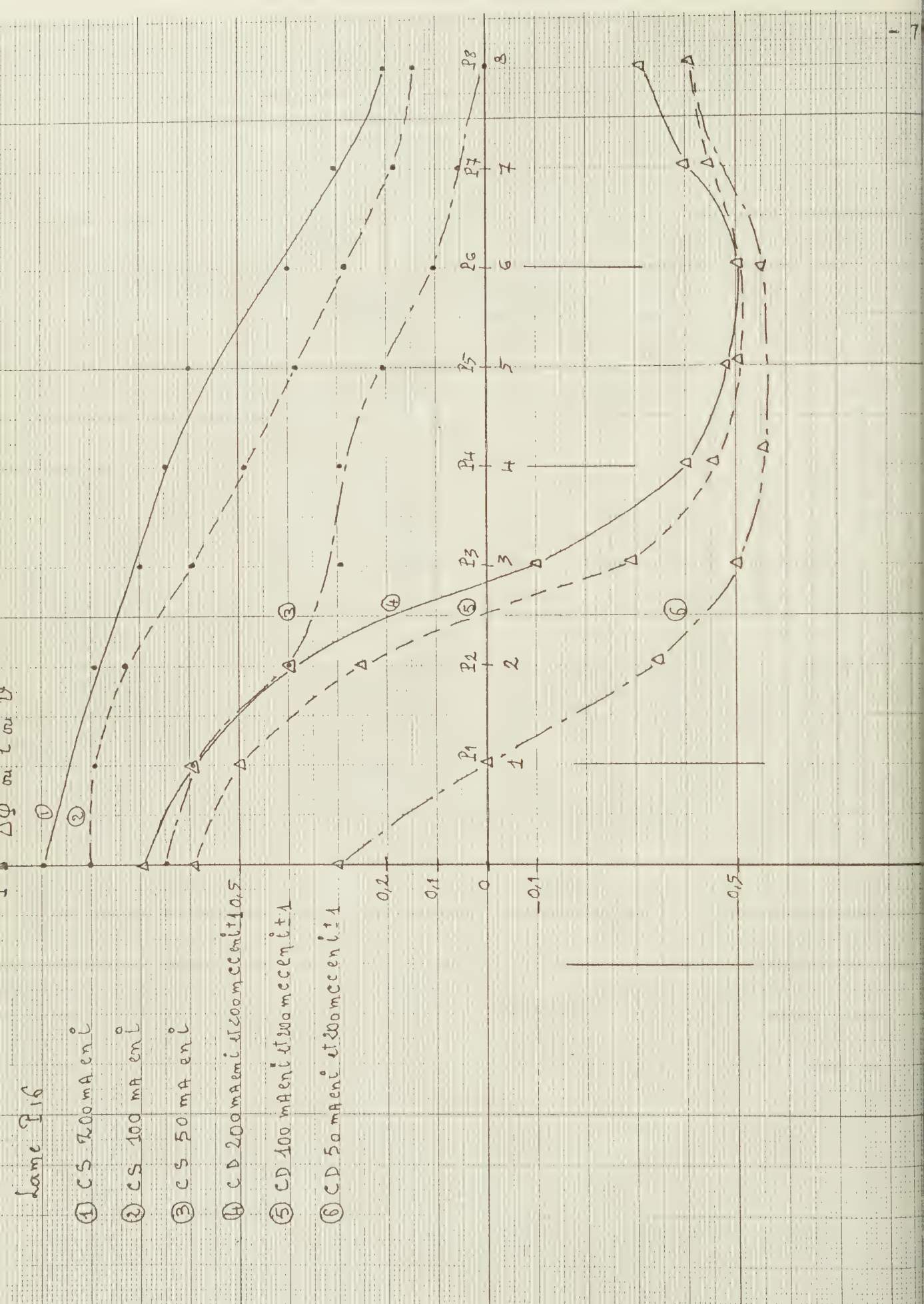
② CS 100 mA en i

③ CS 50 mA en i

④ CD 200 mA en i et 200 mC en i ± 0,5

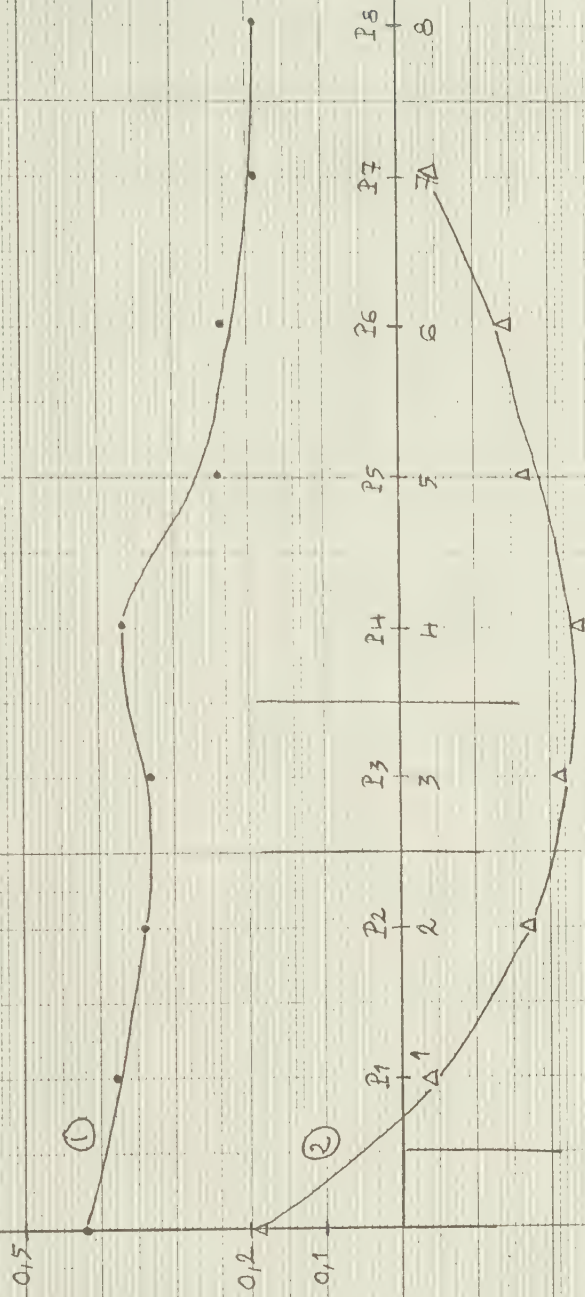
⑤ CD 100 mA en i et 200 mC en i ± 1

⑥ CD 50 mA en i et 200 mC en i ± 1



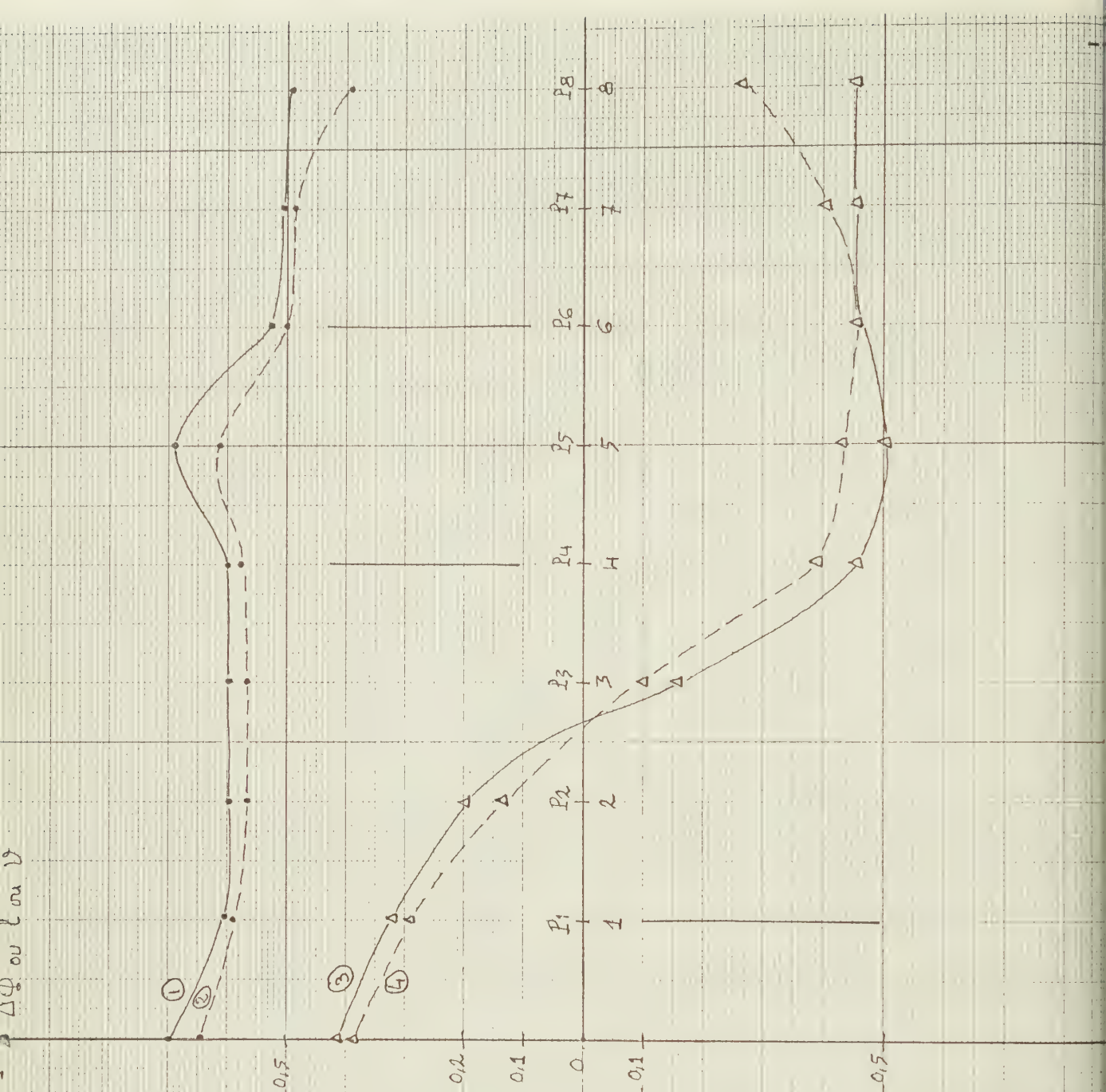
① CF 100 mA emi, $i \pm 1$

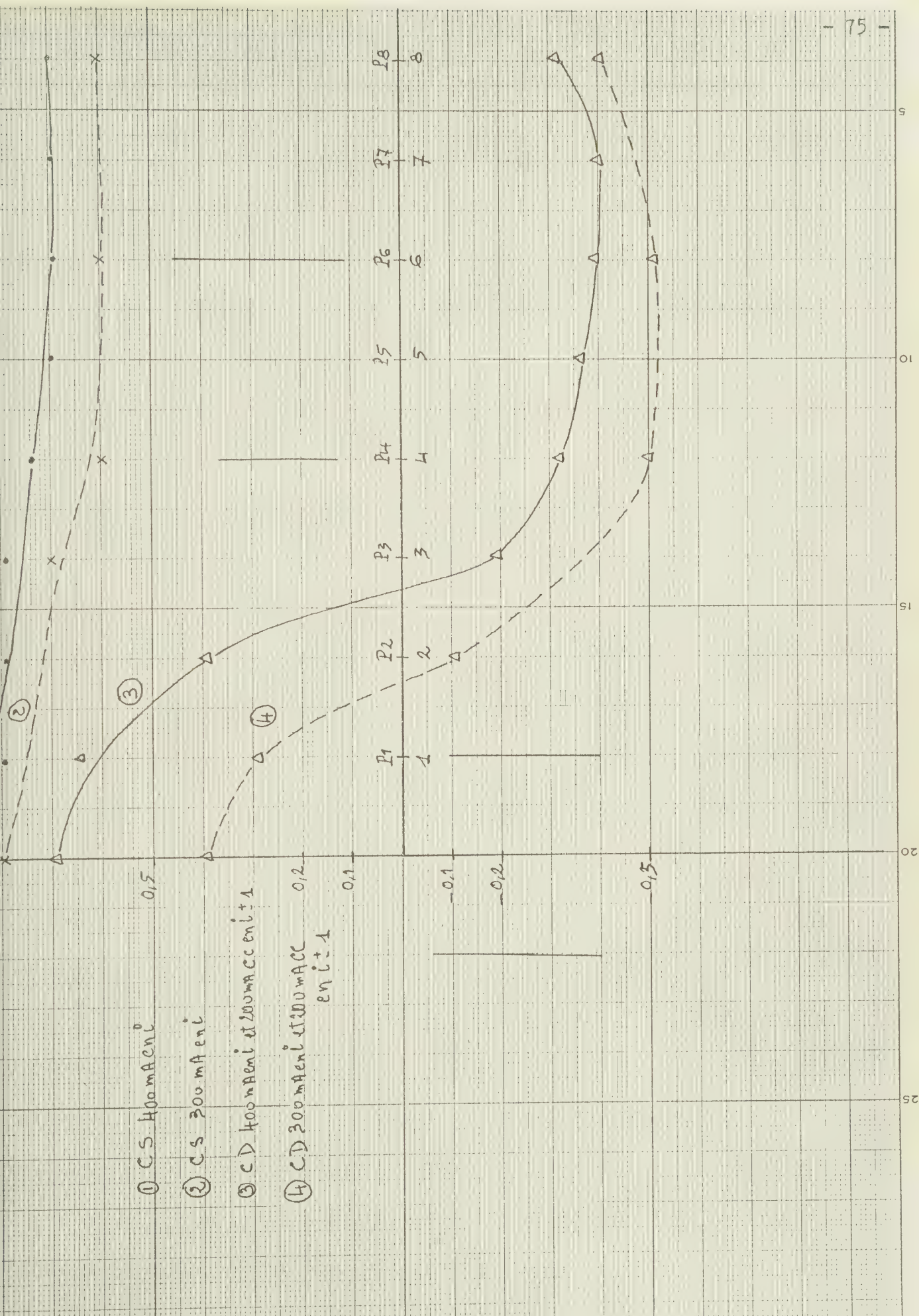
② CD 100 mA emi, $i \pm 1$



same P64

- ① CF 200mA eni, l±1
- ② CF 100mA eni, l±1
- ③ CD 200mA
- ④ CD 100mA





① CS 400 mA eni

③ CS 300 mA eni

⑤ CD 400 mA eni et 200 mA eni + 1

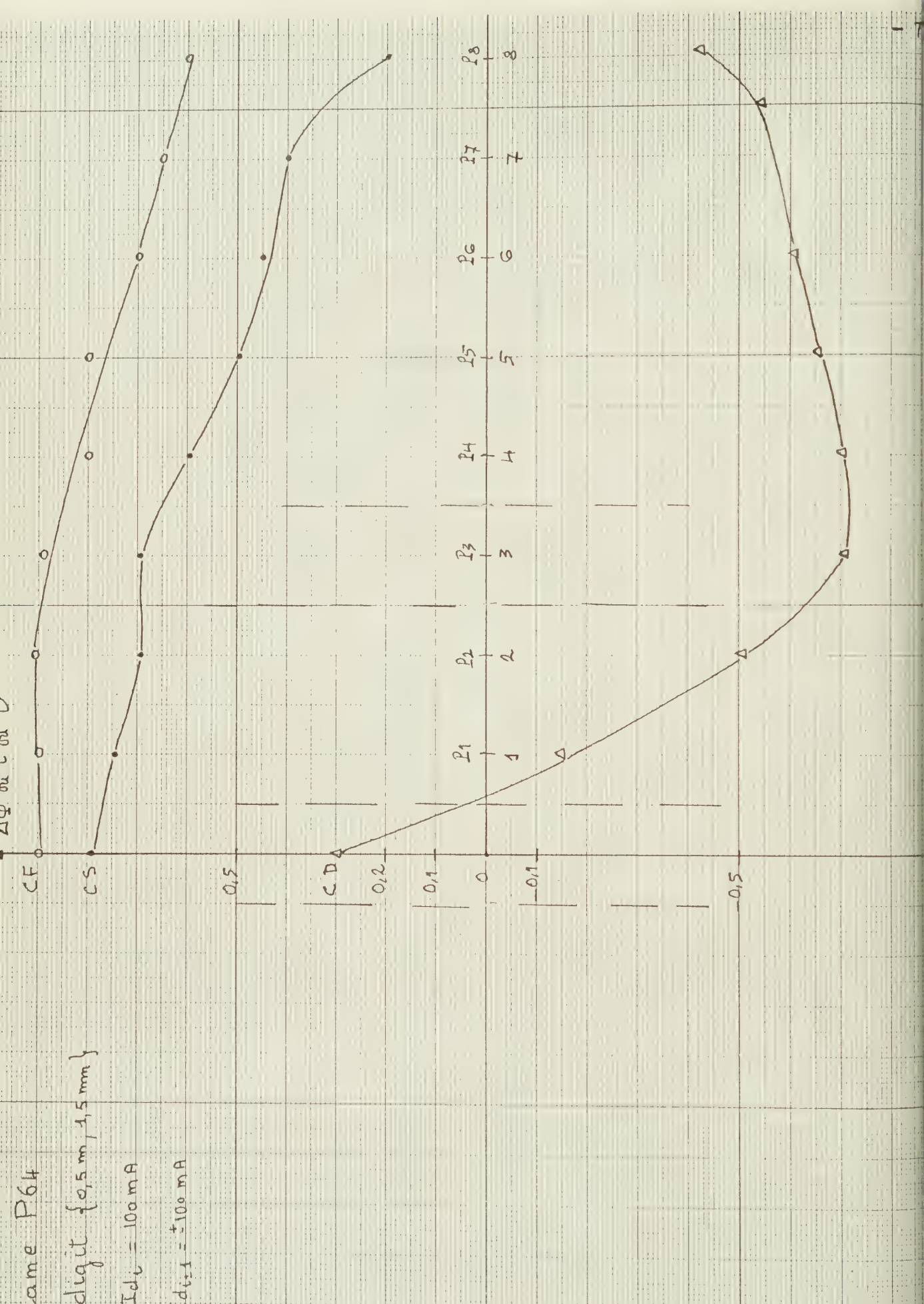
④ CD 300 mA eni et 200 mA eni + 1

same P64

digit {0,5 mm, 1,5 mm}

$I_{dL} = 100 \text{ mA}$

$d_{L1} = \pm 100 \text{ mA}$

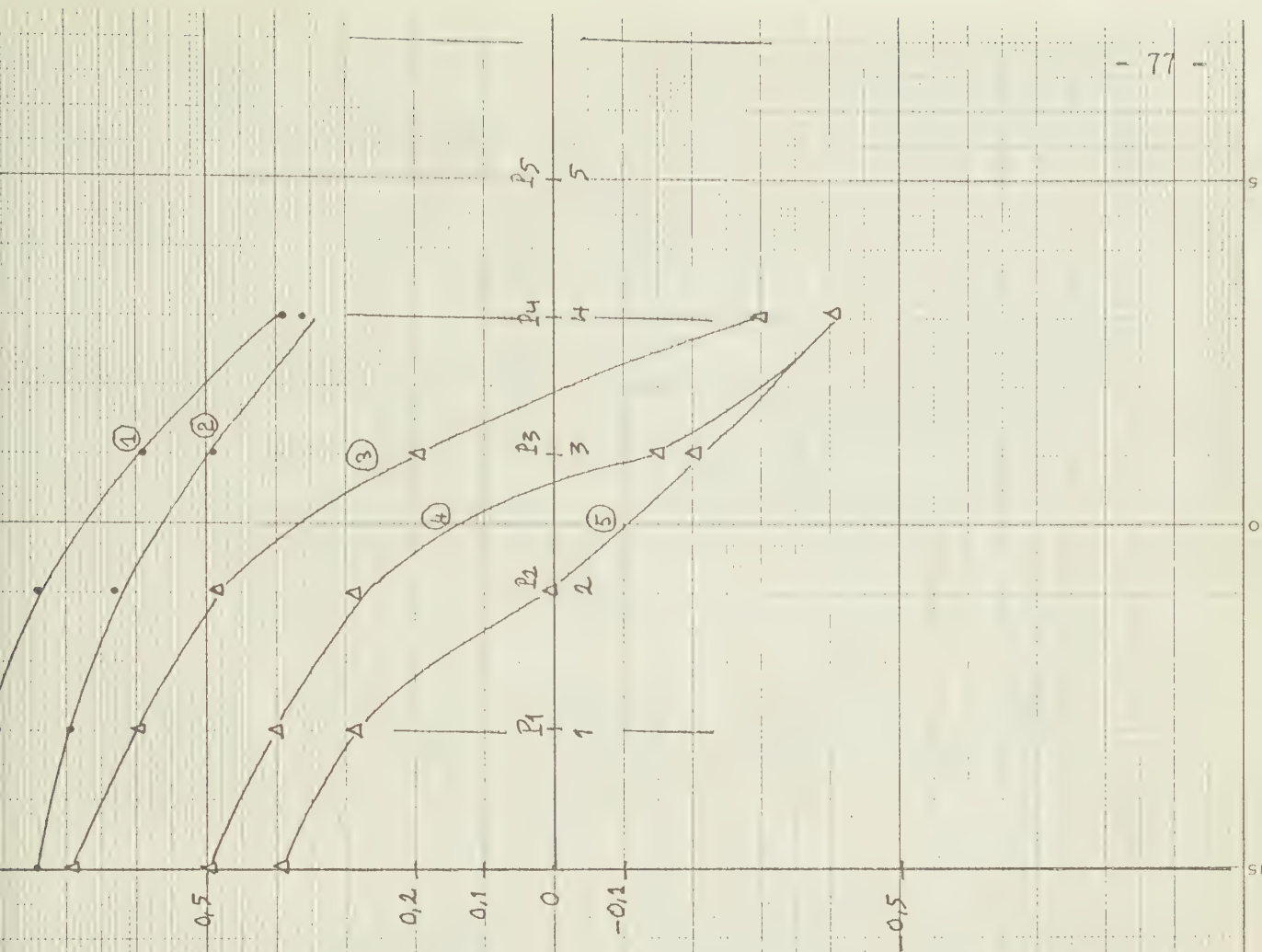


② C.S. 100 mA

③ C.D. 200 mA en i et 200 mA C.C. en $i \pm 1$

④ C.D. 100 mA en i et 200 mA C.C. en $i \pm 1$

⑤ C.D. 50 mA en i et 200 mA C.C. en $i \pm 1$



4.6. Comparaison des résultats théoriques et expérimentaux.

Les formes de cellules que nous avons trouvées dans l'étude précédente nous montrent que, pour l'étude théorique des champs de fermeture et des champs démagnétisants, l'hypothèse d'un domaine limité par deux arcs de sinusoides se rapproche assez de la réalité. Nous trouvons aussi que, pour le réseau de digit $\{1; 2,5\}$ la configuration $\{\bar{a}, a, \bar{a}\}$ quoique très défavorable est néanmoins stable, ce que nous savons déjà par l'étude expérimentale des densités de 22 bits/cm² et 45 bits/cm².

Nous savons les réserves qu'il faut faire quant à l'application des formules théoriques dans les hypothèses où elles sont établies. Cependant elles nous permettent de voir l'influence des facteurs b et a sur le champ démagnétisant.

Voyons ce que donne les formules dans le cas d'un réseau de digit de $\{1 \text{ mm}, 2,5 \text{ mm}\}$ et un mot de 0,5 mm.

- Champ démagnétisant au centre de la cellule centrale

$$H(0,0) = \frac{2Me\pi B}{\pi\mu a(1+B^2)}$$

$$e = 350 \text{ Å}$$

$$b = 0,3, a = 1,25$$

$$H(0,0) = 130 \text{ mœ}$$

- Champ de fermeture de $i \pm 1$ au centre de i

$$H(2) = \frac{H(0,0)}{2^3} = 15 \text{ mœ}$$

d'où

$$H(0,0) + H(2) \approx 150 \text{ mœ}$$

nous avons un courant de digit de 100 mA.

Le champ de digit vaut $5 \text{ œ} / \text{Ampère}$

soit un champ de digit de $5/10 = 0,5 \text{ œ}$

Pour la plaque P 16 nous avons $H_c = 1,8 \text{ œ}$

d'où

$$H_p + H(0,0) + H(2) = 1,8 \Rightarrow H_p = 1,65 \text{ œ}$$

Nous trouvons que pour détruire l'information il faut 320 mA. Soit un champ de $0,5 \times 3,2 = 1,6 \text{ œ}$

Nous voyons que la formule théorique donne l'ordre de grandeurs des champs démagnétisants. Ces derniers sont proportionnels à b et à $\frac{1}{a^2}$

Pour une énergie démagnétisante donnée ED si a diminue b doit diminuer. C'est ce que nous constatons expérimentalement au paragraphe 6.5.4. où les champs de commande des divers tests sont inchangés d'une configuration à une autre.

Les essais avec un digit $\{0,5; 1,5\}$ où a vaut 0,5 montrent que dans ce cas b est très faible. Or les conducteurs de mots n'ont pas été changés ni les courants de commande cela montre bien que c'est l'énergie démagnétisante qui l'emporte. En augmentant les champs de commande nous arrivons à augmenter b , mais alors la cellule est plus sensible aux perturbations. Nous obtenons un domaine moins stable.

En conclusion la formule théorique donne bien l'allure des champs internes et nous montre les limites de la densité dans le sens de digit.

Nous comprenons pourquoi il y a de telles différences entre les configurations $\{a, a, a\}$ et $\{\bar{a}, a, \bar{a}\}$. Pour cette dernière configuration nous pouvons dire qu'une grande partie de l'énergie fournie sert à créer les parois.

Le bilan d'énergie nous montre qu'il y a une très grande différence entre les deux configurations comme le montre l'étude de la tenue de l'information.

Comparés aux champs démagnétisants les champs d'étalement et de fermeture sont négligeables. L'optimisation des variables de configurations de champs D et X n'amènera pas une augmentation appréciable de la densité de digit mais seulement une diminution du champ de commande de digit.

4.7. Etude de la densité de mot.

L'étude de la densité de 45 bits/cm² nous a montré l'influence des cellules ($m \pm 1, i$) sur la cellule centrale. La configuration qui donne le plus faible signal de lecture est celle où l'on écrit a en ($m \pm 1, i$) si l'on écrit a en (m, i).

4.7.1. Etude expérimentale de la variation du signal de lecture suivant les caractéristiques du réseau de mot.

Pour faire cette étude nous gardons toujours la même configuration dans le sens facile. Nous prenons la plus défavorable : $\{\bar{a}, a, \bar{a}\}$

4.7.1.2. Réseau de mot $\{0,3;0,9\}$, digit $\{1;2,5\}$

Ces réseaux définissent une densité de 45. Nous faisons les essais suivants :

1)

$$\bar{a} = \begin{Bmatrix} \bar{a} \\ a \\ \bar{a} \end{Bmatrix} \quad a = \begin{Bmatrix} a \\ a \\ a \end{Bmatrix}$$

Soit : Ecriture en $m - 1$ de a en a

Ecriture en $m + 1$ de a en a

Ecriture en m de a

Lecture en m

Signal de lecture dans la configuration :
500 μ V

Signal de lecture dans la configuration :
600 μ V

La moyenne porte sur 10 groupes.

2) Nous utilisons cinq mots $m \pm 2, m \pm 1$ et m. Nous écrivons d'abord en $m \pm 1$, puis en $m \pm 2$, ensuite en m. Nous étudions les deux configurations suivantes.

$$\textcircled{1} \left\{ \begin{array}{c} \bar{a} \\ a \\ \bar{a} \\ a \\ \bar{a} \\ a \\ \bar{a} \\ a \\ \bar{a} \\ a \end{array} \right\}_m \quad \textcircled{2} \left\{ \begin{array}{c} a \\ \bar{a} \\ a \\ \bar{a} \\ a \\ \bar{a} \\ a \\ \bar{a} \\ a \\ \bar{a} \end{array} \right\}_m$$

Nous avons dans ce cas une densité de mot deux fois plus faible et nous positionnons l'aimantation entre les cellules $(m \pm 2, i)$ et (m, i) .

Signal de lecture dans le cas 1 : $500 \mu v$

Signal de lecture dans le cas 2 : $500 \mu v$

3) Nous avons les deux configurations suivantes :

$$\textcircled{1'} \left\{ \begin{array}{c} a \\ \bar{a} \\ a \\ \bar{a} \\ a \\ \bar{a} \\ a \\ \bar{a} \\ a \\ \bar{a} \end{array} \right\}_m \quad \textcircled{2'} \left\{ \begin{array}{c} \bar{a} \\ a \\ \bar{a} \\ a \\ \bar{a} \\ a \\ \bar{a} \\ a \\ \bar{a} \\ a \end{array} \right\}_m$$

Signal de lecture dans le cas 1' : $600 \mu v$

Signal de lecture dans le cas 2' : $600 \mu v$

4.7.1.3. Réseau de mot $\{0, 5; 1\}$ digit $\{1; 2, 5\}$

Configuration n° 1 $\left\{ \begin{array}{c} a \\ \bar{a} \\ a \end{array} \right\}$ signal $1300 \mu v$

Configuration n° 2 $\left\{ \begin{array}{c} a \\ \bar{a} \\ a \end{array} \right\}$ signal $-1000 \mu v$

Configuration n° 3 $\left\{ \begin{array}{c} \bar{a} \\ a \\ \bar{a} \end{array} \right\}$ signal $800 \mu v$

Configuration n° 4 $\left\{ \begin{array}{c} \bar{a} \\ a \\ \bar{a} \end{array} \right\}$ signal $-1400 \mu v$

Réseau de mot $\left\{ 0,5; 2 \right\}$ digit inchangé
mylar 70μ

Configuration n° 1 $\left\{ \begin{array}{c} \bar{a} \\ \bar{a} \\ \bar{a} \end{array} \right\}$ signal - $900\mu v$

Configuration n° 2 $\left\{ \begin{array}{c} \bar{a} \\ a \\ \bar{a} \end{array} \right\}$ signal 1200 μv

Configuration n° 3 $\left\{ \begin{array}{c} a \\ \bar{a} \\ a \end{array} \right\}$ signal - 800 μv

Configuration n° 4 $\left\{ \begin{array}{c} a \\ a \\ a \end{array} \right\}$ signal 1300 μv

Résultats. Si nous comparons les résultats de 1, 2 et 3 nous voyons que l'état des cellules $(m \pm 2, i)$ influe peu sur la lecture en a. Les essais 2 et 3 correspondent à une densité de mot deux fois plus faible et nous voyons que c'est l'état de l'intercellule qui influe sur la lecture, et non sur la zone d'inscription. L'étude avec le réseau $\left\{ 0,5; 2 \right\}$ montre que, quand on augmente le champ d'étalement l'influence de $(m \pm 1, i)$ sur (m, i) augmente.

4.8. Analyse des phénomènes d'inscription.

Nous distinguerons trois cas

- 1) Avant toute opération d'écriture la lame est morcelée en domaines parallèles à l'axe facile.
- 2) La lame est saturée à " $\bar{a}$ " et on écrit a.

3) La lame est saturée à "a" et on écrit a.

1 - Il y a morcellement avant l'écriture

Au repos l'aimantation est comme l'indique la figure



Quand nous appliquons le champ de mot l'aimantation fait un angle $\pi/2 - \alpha$ avec l'axe facile.

Dans la zone où le champ résultant h_m est tel que $h_m > H_k, \alpha$ est l'angle de dispersion locale et est très faible.

A mesure que l'on s'éloigne du centre du conducteur de mot α augmente et devient voisin de $\pi/2$

Si le champ de digit est h_d , nous avons vu que nous écrivons l'information dans une zone telle que :

$$h_d > h_m(y) \sin \alpha_0(M) + \mathcal{H}_{i_m}(M) + h_{dt}$$

et dans la zone complémentaire on aura morcellement.



A la lecture nous aurons un signal proportionnel à zy_0 pour la zone d'écriture. Le signal dû à la zone de morcellement est pratiquement nul. Que nous écrivons a ou $\bar{a}$, à la lecture le signal aura sensiblement la même amplitude.

2 - La lame est saturée à " $\bar{a}$ " et l'on écrit a

La condition précédente devient

$$h_d > h_m(y_0) \sin \alpha_0(M) + \mathcal{H}_{i_d}(M) + h_{dt}$$

Il y a en effet un petit changement dans la région où la paroi n'est plus parallèle à l'axe facile, car la densité de pôles n'est plus la même.

Dans le premier cas nous avons la configuration suivante



Nous aurons $y_D < y_0$ et au repos après l'écriture



A la lecture, dans la zone $2y_D$ nous aurons un signal v_D^* et dans la zone complémentaire $-bv$; le signal résultant sera :

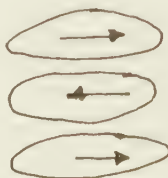
$$v_D = v_D^* - bv_D$$

3 - Il est facile de voir que dans ce cas nous aurons $y_F > y_0$ et nous aurons $v_F = v_F^* + bv_F$

Cette analyse nous permet de voir l'influence des cellules $(m \pm 1, i)$ sur (m, i)

Prenons l'exemple du réseau de mot

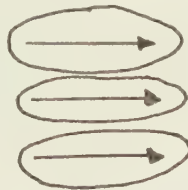
A) Cas défavorable on écrit $\bar{a}$ en $(m \pm 1, i)$



par le champ d'étalement nous avons un signal $-bV$ qui correspond à une lecture non destructive au niveau de $(m \pm 1, i)$.

Nous aurons donc comme signal $V_D - \Delta V$

B) Cas favorable nous aurons



nous aurons

$$V_F + \Delta V$$

4.7.2. Expression théorique du rapport $\Gamma = \frac{V_D - \Delta V}{V_F + \Delta V}$ dans le cas d'une densité limite

Nous désignons par densité limite le cas où quand on écrit $\bar{a}$ en $(m+1, i)$ et a en (m, i) il n'y a qu'une paroi entre $(m+1, i)$ et (m, i) et une seule aussi entre $(m-1, i)$ et (m, i) . Dans ces conditions $V_F \approx V_D$ et nous avons

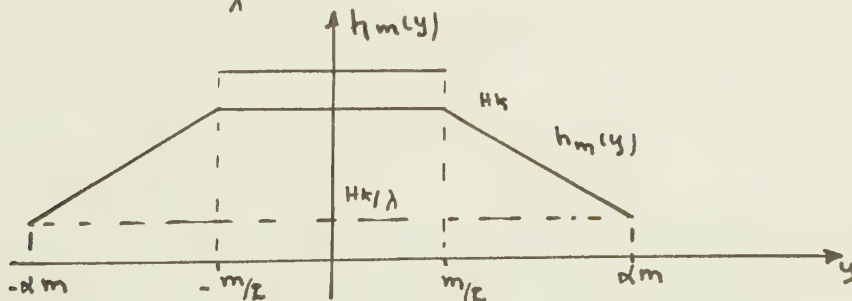


$$\Gamma = \frac{V_D - \Delta V}{V_D + \Delta V} \quad V_D \approx V_F \approx V_F$$

Nous faisons les mêmes hypothèses que dans le cas du calcul effectué pour les perturbations de digit. Sur une largeur m nous avons

$h_m(y) > H_k$. En dehors de cette zone nous faisons l'hypothèse que le champ décroît linéairement (voir chapitre 3) et a une distance $y = \alpha m$

Nous avons $h_m = \frac{H_k}{\lambda} \ll H_k$



Nous obtenons les résultats suivants

$$v_0 = \frac{1}{k} m e m$$

$$\Delta v = \frac{1}{k} m e m \left[1 - \frac{4 - \pi \lambda}{4(1 - \lambda)} \right]$$

Soit

$$\Gamma = \frac{1 - 2\alpha \left[1 - \frac{4 - \pi \lambda}{4(1 - \lambda)} \right]}{1 + 2\alpha \left[1 - \frac{4 - \pi \lambda}{4(1 - \lambda)} \right]}$$

Dans ce calcul nous négligeons l'épaisseur de la paroi.

α et λ sont liés par l'expression du champ de commande. Nous pourrions prendre, dans une bonne approximation $\lambda = 10$, alors

$$\Gamma = \frac{1 - 2\alpha_m \left[1 - \frac{4 - 10\pi}{-36} \right]}{1 + 2\alpha_m \left[1 - \frac{4 - 10\pi}{-36} \right]}$$

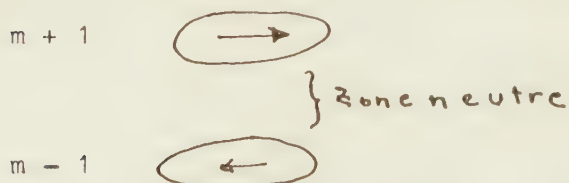
Soit

$$\Gamma = \frac{1 - \frac{\alpha_{10}}{2}}{1 + \frac{\alpha_{10}}{2}}$$

La formule théorique nous montre que pour λ donné il faut diminuer α pour que Γ tende vers 1 et pour α donné il faut augmenter λ . Dans les deux cas cela revient à diminuer l'effet d'étalement du champ de mot.

4.8.2.1. Modes de fonctionnement

Dans le cas où l'on n'a pas la densité limite, ce qui est le cas pour les densités de 22 et 45 bits/cm², il y a entre les cellules de deux mots voisins une zone où la direction de l'aimantation est indépendante des champs de commande.



Nous pouvons alors écrire n'importe quoi dans les cellules sans que l'aimantation de cette zone change de direction. Pour une configuration donnée si l'aimantation est dans un sens a dans la zone neutre nous aurons un signal V_1 . Si elle est dans le sens a nous aurons un signal V_2 .

Nous disons que l'on a deux modes de fonctionnement stables. En effet si l'on part d'une configuration C_1 où l'on a un signal v_1 on peut faire toutes configurations que l'on veut et en retournant à C_1 on retrouve v_1 .

Cela nous donne un moyen de vérifier la formule qui donne Γ . Nous saturons la lame dans un sens et dans une configuration donnée nous écrivons a en (m, i) . Nous recommençons l'opération en saturant dans l'autre sens. Nous obtenons deux signaux de lecture v_1 et v_2 et nous avons

$$\text{Si } v_1 \neq v_2 \quad \Gamma = v_1/v_2$$

Pour deux conducteurs de mots différents nous trouvons

$$\Gamma_{e1} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{300}{700} = 0,43$$

Les courbes d'étalement donnent pour ce mot et pour $\lambda = 10$

$$d_{10} = 0,75$$

d'où

$$\Gamma_{e1} = 0,46$$

$$\Gamma_{e2} = \frac{v_1'}{v_2'} = \frac{500}{800} = 0,62$$

$$\text{et } d_{10} = 0,60$$

$$\text{d'où } \Gamma_{e2} = 0,54$$

Nous voyons que la formule théorique est suffisamment précise pour que nous puissions l'utiliser pour des déterminations de densité de mot.

4.9. Densité de mot maximale

Nous nous plaçons dans le cas de la configuration

$$C_1 = \begin{matrix} \bar{a} & \bar{a} & \bar{a} \\ a & a & a \\ \bar{a} & \bar{a} & \bar{a} \end{matrix} m$$

Valeurs des variables de champs $\{X, D\}$. Il existe une largeur de conducteur m où

$$D = 0,20$$

$$X \leq 0,20$$

Nous prenons cette valeur pour D car les courbes $f(\gamma)$, pour

$0 \leq D \leq 0,20$, sont pratiquement confondues (voir ch. 3)

Le coefficient d'étalement vaut 0,5 et la distance minimum entre deux conducteurs de mot doit être de $m/2$ pour avoir Γ maximum.

Si nous considérons maintenant la configuration la plus défavorable, la zone d'inscription est plus petite en (m, i) . En pratique on est limité par la valeur V_0 du signal de lecture sur lequel se fera l'échantillonnage. Si on veut augmenter le signal il faut augmenter le courant de mot. Cela entraîne une augmentation de la distance entre les conducteurs de mot. On sera amené à prendre un pas de mot de 2m.

Dans le cas où le dépôt magnétique est réalisé sur le plan de masse et si le réseau de conducteur de mot a un isolant de 10μ , il faut, pour avoir $D \leq 0,2$, prendre $m = 10\mu$. Nous pourrions avoir une densité de 50/cm pour le mot.

4.10. Structures à flux fermé

Les deux facteurs qui limitent la densité sont : l'étalement des champs de commande et la diminution de la zone d'écriture dans la configuration défavorable de digit.

Nous pouvons diminuer l'étalement en effectuant des dépôts sur plan métallique.

Le second facteur ne peut être éliminé qu'en utilisant des structures à flux fermé, par exemple cylindre à axe facile circonférentiel. Ce qui pourrait permettre des densités supérieures à 500 bits/cm² mais l'organisation de la mémoire sera moins simple.

De telles densités ne seront intéressantes que pour des mémoires de grandes capacités (10⁸ bits). Or pour de telles capacités il semble que les mémoires cryoélectriques soient plus intéressantes.

Pour des mémoires de moyennes capacités rapides (10⁶ bits- 300 ns) les densités qu'on obtient avec des lames magnétiques planes paraissent suffisantes. Dans ce cas nous remarquons que le gain (rapport énergie recueilli à la lecture sur énergie de commande) diminue rapidement. Le courant de mot sert essentiellement à vaincre le champ démagnétisant dans le sens difficile. On peut éviter cet inconvénient en fermant le flux dans le sens difficile par l'utilisation de dépôts cylindriques à axe facile longitudinal.

C O N C L U S I O N

Les essais effectués au cours de cette étude me permettent de dégager les points suivants :

1) Influence du nombre d'écritures sur le signal de lecture.

Pour les lames que j'ai étudiées et pour les valeurs nominales des courants de commande (pour le courant de mot il faut créer un champ effectif supérieur ou égal à HK, pour le courant de digit on doit se trouver sur le palier de la courbe $\Delta\phi = f(i_d)$) les essais que j'ai effectués, dans différents cas, montrent que le signal dépend très peu du nombre d'écritures ou de perturbations. Les variations maximales constatées - jusqu'à 2^{16} opérations - sont de l'ordre de 10%.

2) Limitations de la densité.

J'ai analysé les causes et les conséquences des configurations défavorables que j'ai mises en évidence au chapitre 4. Je distingue deux facteurs de limitations.

a) Etalement des champs de commande.

C'est la cause principale de la limitation de la densité de mot. Pour diminuer son effet il faut placer les conducteurs de commande le plus près possible de la couche magnétique et effectuer des dépôts sur plan métallique.

b) Energie démagnétisante.

Cette énergie croît très rapidement quand on diminue la longueur de la cellule dans le sens facile. L'utilisation d'une forme de cellule particulière me permet de voir théoriquement que les deux dimensions de la cellule sont liées de telle manière qu'une diminution de la longueur dans le sens facile entraîne une diminution dans le sens difficile et par suite une diminution du signal de lecture. J'ai retrouvé ces résultats expérimentalement.

Dans une manipulation simple j'ai déterminé la forme moyenne réelle des zones d'inscription et montré ainsi que l'on a de grandes différences suivant les configurations, ce qui explique les importantes variations trouvées sur les signaux de lecture.

Pour les densités que nous avons étudiées et pour des densités plus élevées, on ne peut pas considérer les cellules comme des éléments isolés. Il y a interpénétration des zones d'inscription dans le sens facile.



B I B L I O G R A P H I E

Raffel, Crother	P I R E	Janvier 61
Bradley	Journal British I R E	Octobre 60
Matrick	Journal of applied physics	Avril 63
Smith	Journal of applied physics	Avril 63
Bittman	Intermag	Avril 63
Pohm	Intermag	Avril 63
	Electronic design	Juin 63
	Electronic components division	Avril 62
James Kaposi	Journal of British I R E	Juin 63
Dietrich, Wolf	I.B.M. Journal	Avril 60
Proebster	(I.B.M. Zurich)	Février 62
Kriessman	Intermag	Avril 63
Dietrich	I.B.M. Journal	Juin 62
Hart	Intermag	Avril 63
Lambert	Pacif. Computer Conference	Avril 63
Johnson	Intermag	Avril 63
Boleck	Intermag	Avril 63
Acquillan	IRE trans on electronics computers	
Anderson	J O A P	Avril 63
Mossman	J O A P	Avril 63
Chang	J O A P	Avril 63
Pestchauer	Proceedings of the western joint computer conference.	Mai 61
Pohm	1960 Inter. Solid state circuits conference	60
Cowan	Electronic Engineering	Octobre 61
Oakland	J O A P	Avril 59

Rajchman	J O A P	Avril	63
Texas	P I R E	Novembre	62
Pestchauer	Proceedings of the western joint computer conference.	Mai	61
Bradley	J O A P	Mars	62
Bittman		Mars	61
Hinger	Inter. Solid state circuits conference		62
I.B.M. (U.S.A.)	Inter. Solid state circuits conference		62
Pohm	Inter. Solid state circuits conference		60
Proebster	Inter. Solid state circuits conference		60
Cowan	Electronic Engineering	Octobre	61
Bittman	Instruments and central systems	Mars	61
Remington		Mai	60
Dietrich	Electronics	Juin	60
Dietrich	I.B.M. Journal	Avril	60
Bittman	Electronics	Juin	59
Burroughs	Document Burroughs	Juin	61
Peacock	British Com. and Electronics	Juin	61
Hart		Février	61
Gérardin	D.E. Janv.61	Janvier	61
Kuttner	Electronics instruments division (Burroughs)		
Middelhoek	Thèse, Université d'Amsterdam et IBM		
Leaver	Thèse, Université de Londres et I.C.T		
	I.S.S.C.C	Février	64

TABLE DES MATIERES

Définitions, notations et symboles	0
Introduction	00

CHAPITRE 1 - Champs perturbants et conditions de mesure

1.1. Perturbations et champs perturbants	1
1.2. Evaluation des signaux parasites	3
1.3. Description du simulateur	4
1.4. Maquette de mémoire	6

CHAPITRE 2 - Etude expérimentale de deux densités

2.1. Densité de 22 bits/cm ²	10
2.2. Densité de 45 bits/cm ²	18

CHAPITRE 3 - Evaluation des champs appliqués

3.1. Principe des mesures	38
3.2. Evaluation du champ d'étalement en fonction de d	
3.3. Champ créé par i en fonction de d.	
3.4. Etude théorique du champ.	

CHAPITRE 4 - Etude des configurations défavorables

4.1. Ecriture de l'information "a" dans une cellule	48
4.2. Champs démagnétisants et champs de fermeture	52
4.3. Influence des perturbations de digit sur le signal de lecture	
4.4. Evaluation des champs internes statiques	52
4.5. Forme et dimensions des cellules de mémoires	61
4.6. Comparaison des résultats théoriques et expérimentaux	78
4.7. Etude de la densité de mot	80
4.8. Analyse des phénomènes d'inscription	82
4.9. Densité de mot maximale	87
4.10. Structure à flux fermé	88
Conclusion	89



DEUXIEME THESE

Propositions données par la Faculté

Reconnaissance optique de caractères

Vu :

Les Membres du Jury

MM. R. BERNARD

R. ARNAL

PERNOUX

F. GALLET

Vu et Approuvé :

Le doyen de la Faculté des Sciences

J. BRACONNIER

Vu et accordé le permis d'imprimer :

Lyon, le 31 MAR 1965

Le Recteur,

Président du Conseil de l'Université

P. LOUIS



